FORSCHUNGEN

AUF DEM GEBIETE DER

AGRIKULTUR-PHYSIK.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. E. WOLLNY,

PROFESSOR IN MÜNCHEN.

FÜNFZEHNTER BAND.

MIT ORIGINAL-BEITRÄGEN VON

A. VON DOBENECK, E. EBERMAYER, C. FRUWIRTH, F. HANNÉN, E. W. HILGARD, C. KRAUS, H. PUCHNER, J. WIESNER, E. WOLLNY.

MIT 1 PHOTOLITHOGRAPHISCHEN TAFEL.

HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1892.

Inhalts-Verzeichniß.

I. Physik des Bodens.

Anmerkung: Die unter der Rubrik „Neue Litteratur“ mitgetheilten Referate sind in obigem Inhaltsverzeichniß zur Unterscheidung von den Originalabhandlungen am Anfang des Titels mit einem * versehen. D. H.

*

II. Physik der Pflanze.

III. Agrar-Meteorologie.

Druckfehler-Berichtigung.

Es muß heißen:

S. 32. Zeile 16 von oben: 1892 statt: 1890.

S. 111. Zeile 2 von unten: Gersten 1733 statt: Gersten 1833.

Autoren-Verzeichniß.

I. Physik des Bodens.

Zur Bestimmung der Wasserkapazität der Bodenarten.

Von Dr. **Eug. W. Hilgard**,
Professor der Agrikulturchemie an der Universität von Kalifornien.

Mit Bezugnahme auf die Erörterungen *Ad. Mayer*'s hinsichtlich der Wasserkapazitätsbestimmung (dies Journ. XIV. 254) und mit Hinweis auf desselben frühere Abhandlungen über denselben Gegenstand, erlaube ich mir folgende Bemerkungen:

Es scheint mir, daß eine wirklich «absolute» Bestimmung dieses Faktors nur dann möglich ist, wenn man das Maximum der kapillaren Steighöhe kennt, welche das flüssige Wasser in der betreffenden Bodenart erreichen kann. Nur dann ist es möglich, durch Summirung der Differenzialen, welche die in verschiedenen Höhen gegenwärtigen Wassermengen repräsentiren, zu einem Ausdruck zu gelangen, der einen absoluten physischen Faktor darstellt, aus dem sich ein für alle anderen Fälle gültiges Gesetz ableiten ließe. Mit Hülfe eines solchen Gesetzes würde es dann möglich sein, aus der gefundenen Kapazität auch einer ganz niedrigen Bodensäule die wirkliche absolute Kapazität zu berechnen.

Ich habe schon vor zwölf Jahren dahin zielende Versuche angestellt und die Resultate veröffentlicht (Report of the College of Agriculture of the University of California. 1880. pag. 20). Es wurden drei charakteristisch verschiedene Bodenarten (grobsandig, feinpulvrig und sehr thonig) in 2 m lange, 35 mm weite Glasröhren eingefüllt, unten mit Leinwand verbunden und dann in destillirtes Wasser eingehängt, dessen Niveau fest blieb. Dann wurden, zuerst von Stunde zu Stunde, später von Tag

zu Tag, die Höhen abgelesen, die das Wasser in den verschiedenen Röhren erreicht hatte. So ergab sich z. B., daß nach Verlauf von 6½ Tagen der Wasserstand im Sandboden mit 420 mm sein Maximum erreicht hatte; der schwere Thonboden stand zu gleicher Zeit auf 515 mm, der feinpulverige Boden, im lockeren Zustande eingeschüttet, auf 526 mm; derselbe (nach *Liebreich*'s Vorgang) im eingestampften Zustande auf 375 mm. In dem letzteren nun erreichte der Wasserstand sein Höhenmaximum nach Verlauf von 225 Tagen mit 1250 mm; in dem locker eingefüllten Rohre stand in derselben Bodenart das Maximum auf etwa 1175 mm nach 195 Tagen; und nach derselben Zeit stand im Thonboden die Feuchtigkeitsgrenze auf 1150 mm.

Die Versuche sind nicht ohne praktische Schwierigkeiten, die z. Th. nicht leicht zu überwinden sind. Besonders schwer hält es, das Zerbrechen der nicht eingestampften Erdsäulen zu verhindern, sofern dieselben nach der Anfeuchtung durch das obenauflastende Gewicht zum Sinken veranlaßt werden. Es ist daher wohl am besten, alle Erden im eingestampften Zustande[1]) zu solchen Versuchen zu benutzen, obgleich dies natürlich den Bedingungen, unter denen dieselben auf dem Acker uns dienen, nicht gut entspricht. Es ist aber doch anzunehmen, daß auf diesem Wege richtige Verhältnißzahlen zu erhalten sind, die für die weniger dichten Zustände, in denen wir die Böden praktisch kultiviren, nur einer mehr oder weniger konstanten, jedenfalls gesetzmäßigen Korrektion bedürfen.

Es ist einleuchtend, daß in einer solchen Erdsäule in der die Feuchtigkeitsgrenze das Maximum der möglichen Steighöhe erreicht hat, die oberste Schicht dem Zustand entspricht, aus dem *Mayer* den «absoluten» Absorptionskoëffizienten ableiten will; der dann aber augenscheinlich nur das Minimum der nassen Absorption darstellt. Am Fuße der

[1]) Das Maß dieses Einstampfens ist von hoher Wichtigkeit und darf natürlich die Verdichtung nicht übersteigen, die durch das natürliche Zusammensinken einer nassen Erdsäule erreicht würde, denn sonst läge es außerhalb der praktischen Bedeutung, die dem Unterschied zwischen frisch bearbeitetem und längere Zeit brach gelegenem Boden entspricht. Nach unseren Beobachtungen ist nur ein sehr geringer Unterschied zwischen der endlichen Steighöhe der lockeren und mäßig eingestampften Erde, nur bedarf die erstere bedeutend mehr Zeit zur Erreichung des Maximums. Würde dieselbe aber mittelst einer hydraulischen Presse verdichtet, so würde sich zweifellos die Sache ganz anders gestalten.

Säule hingegen existirt das mögliche Maximum; und dies ist für praktische Zwecke, soweit diese Bestimmung denselben überhaupt dient, jedenfalls eben so wichtig als das Minimum; da es sich oft darum handelt, abzuschätzen, wieviel Wasser in einem vollständig durchnäßten, schlecht drainirten Boden zu erwärmen oder zu beseitigen ist.

Daß jenes Maximum zu dem korrespondirenden Minimum in gesetzmäßigem Zusammenhang und Verhältniß stehe, ist wohl kaum zweifelhaft; ob aber dasselbe Gesetz für alle Bodenarten gültig sein wird, ist eine Frage, mit deren experimenteller Beantwortung soeben im hiesigen Laboratorium vorgegangen wird.

Da die direkte Bestimmung der kapillaren Steighöhe nicht nur sehr zeitraubend, sondern auch, wie oben bemerkt, mit vielen praktischen Schwierigkeiten behaftet ist, so suchen wir dieselbe so viel als möglich durch Bestimmung der Maxima und Minima, unter Anwendung des anderweitig ermittelten Gesetzes für die Progression von dem einen zu dem andern, zu ersetzen. Es versteht sich, daß dieses Gesetz kein ganz einfaches sein kann, in Rücksicht auf die unendlich wechselnde physikalische Konstitution der Bodenarten, in denen die spezifischen kapillaren Eigenheiten bald dieses bald jenes Bestandtheiles einen modifizirenden Einfluß äußern werden. Es scheinen nach vorläufigen Versuchen diese Modifikationen ganz denen parallel zu laufen, die in Bezug auf die Absorption der hygroskopischen Feuchtigkeit zu beobachten sind. Mit Hinblick auf die nun so vielfach konstatirte Kontinuität des flüssigen und des Gaszustandes ist dies auch a priori kaum anders zu erwarten; und nach bis jetzt erhaltenen Daten scheint es fast, als ob am Ende dasselbe Gesetz für die hygroskopische und flüssige Wasserabsorption für geltend befunden werde. Nur ist dabei streng zu beachten, daß beide Bestimmungen unter fest bestimmbaren physikalischen Bedingungen ausgeführt werden müssen. Es muß der hygroskopische Koëffizient bei bestimmter Temperatur unter vollständig gesättigter Luft ausgeführt werden, wie ich dies schon früher des Weiteren erläutert und experimentell bestätigt habe; die Bestimmung der Absorption «lufttrockener» Erden ist von äußerst geringem Interesse, weil ganz der Kontrole entzogen, durch die Unbestimmtheit der stattfindenden Bedingungen. Bezüglich der Bestimmung der flüssigen Absorption ist es klar, daß die erlangten Daten sich um so mehr der rationellen Diskussion unterwerfen

werden, je weniger hoch die Bodenschicht ist, mit der man arbeitet; denn streng genommen sollte es ja eigentlich nur ein Differentialtheil sein. Dies wird deutlicher, wenn man die oben angegebenen Daten betrachtet, wo z. B. in dem grobsandigen Boden das Höhenmaximum mit 420 mm erreicht wurde, während in dem feinpulverigen das Wasser im Laufe der Zeit bis auf die dreifache Höhe stieg. Wenn man nun bei der Wasserkapazitätsbestimmung dieselbe Dicke der Bodenschicht, z. B. 60 mm für beide Erden einhält, so ist klar, daß bei der grobsandigen die Abweichung des Resultats von dem theoretisch richtigen mindestens dreimal größer sein muß als bei der feinpulverigen, wo die 60 mm einen viel kleineren Bruchtheil der maximalen Steighöhe ausmachen. Es ist also ganz unzulässig, eine Vereinbarung über irgend eine bestimmte, bei allen Arbeiten dieser Art anzuwendende Dicke der Erdschicht zu treffen.

Ueberhaupt scheitern dergleichen vorgeschlagene Vereinbarungen, welche die Stelle eines auf rationeller physikalischer Basis beruhenden Ausgangspunktes vertreten sollen, fast stets an dem natürlichen Widerwillen gegen alle Willkür in der Naturforschung. *Mayer*'s Hinweis auf die Wichtigkeit der mechanischen Bodenanalyse als eine bessere Basis für die Beurtheilung eines Bodens gegenüber der Wasserkapazitätsbestimmung, bringt insofern auch jene zur Sprache, als derselbe vor Jahren (dies Journal. V. S. 228) hinsichtlich eben jener wichtigen Untersuchung eine Anzahl von Vereinbarungen zu Grunde zu legen vorschlug, die mir nach dem damaligen und jetzigen Zustande unseres Wissens durchaus unannehmbar erschienen (dies Journal. VI. S. 52). Wenn die mechanische Analyse wirklich solche Dienste leisten soll, so muß sie wie die andern physikalischen Faktoren der Bodenbeschaffenheit, auf unwandelbaren, selbsverständlichen Grundlagen beruhen. Es darf z. B. das Resultat der Verwaschung nicht von der Länge der Zeit abhängig sein, die der Arbeiter auf die Ausführung zu verwenden willens ist; und doch ist dies bei den (meinem Vernehmen nach noch immer bei den deutschen Versuchsstationen im Gebrauch stehenden) Apparaten der Fall. Wie ich längst dargethan habe, ist es bei Anwendung konischer Verwaschungsrohre, in denen der Wasserstrom das Rühren thun soll, durchaus unmöglich, genaue Resultate zu erhalten, weil der Operation wesentlich die Annahme zu Grunde liegt, daß die behandelte Erde sich im

Zustande der Einzelkornstruktur befinde, dieser Zustand sich aber bei Anwendung konischer Rohre und der Strombewegung zur Verhinderung der «Flockung kleiner Theilchen», resp. Krümelstruktur, absolut nicht erhalten läßt; daher ein großer Theil der feinsten Korngrößen in die groben Absätze übergehen muß, wenn nicht (wie dies bei meinem 1873 beschriebenen Schlämmapparat[1]) der Fall ist) durch mechanisches Rühren die gebildeten Kornaggregate laufend zerstört werden. Nur dann sind bei jeder Operationsgeschwindigkeit doch übereinstimmende Resultate zu erhalten, und es liegt doch auf der Hand, daß die kapillaren Eigenschaften des Bodens nur dann nach der mechanischen Analyse richtig beurtheilt werden können, wenn diese die feinsten ebensowohl wie die gröberen Theile im richtigen Verhältniß darstellt. Bei Einhaltung dieser Bedingung könnte es wohl dazu kommen, daß wir nach der mechanischen Analyse die kapillaren Eigenschaften eines Bodens ebensogut oder besser werden beurtheilen können, als dies bis jetzt mit Maßnahme der wasserhaltenden Kraft geschehen kann.

---

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. II. 1879. S. 57.

Mittheilungen aus dem agrikulturphysikalischen Laboratorium und Versuchsfelde der technischen Hochschule in München.

LXIII. Untersuchungen über den Einfluß der physikalischen Beschaffenheit des Bodens auf die Diffusion der Kohlensäure.

Von **F. Hannén,**
Assistent am chemischen Laboratorium des landwirthschaftlichen Instituts in Mustiala (Finland).

Die Schwankungen im Kohlensäuregehalt der Bodenluft lassen sich hauptsächlich auf zwei Gruppen von Vorgängen zurückführen, von welchen die eine jene umfaßt, die auf die Bildung dieses Gases in wechselvoller Weise ihren Einfluß geltend machen [1]), während zu der anderen jene, zum Theil außerordentlich komplizirten Prozesse zu rechnen sind, welche eine Abgabe der Kohlensäure an die atmosphärische Luft veranlassen. Die Ursachen der in letzterer Hinsicht hervortretenden Erscheinungen sind durch Bewegungen der Bodenluft bedingt, welche durch Diffusion, Luftdruckschwankungen, Temperaturwechsel, Einwirkungen des Windes u. s. w. hervorgerufen und außerdem in ihrer Intensität von der physikalischen Beschaffenheit des Erdreichs beherrscht werden. Die Kenntniß des Einflusses genannter Faktoren hat, trotz ihrer Wichtigkeit für eine ganze Reihe einschlägiger Fragen, noch wenig Fortschritte gemacht, besonders deshalb, weil man bei den zahlreichen bisher ausgeführten Unter-

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. IV. 1881. S. 1. — Bd. IX. 1886. S. 165. — Ferner: *E. Wollny.* Ueber die Thätigkeit niederer Organismen im Boden. Braunschweig. *Vieweg & Sohn.* 1883. — Journal für Landwirthschaft. 1886. S. 213—320. — Landw. Versuchsstationen. Bd. XXXVI. 1889. S. 197—214.

suchungen über die freie Kohlensäure im Boden auf die Feststellung der Wirkungen der isolirten Faktoren nur in den seltensten Fällen und in völlig unzureichender Weise Bedacht genommen hat. In Erwägung dieser Umstände schien mir zunächt die Frage über den Austausch von Kohlensäure zwischen Boden und Atmosphäre, soweit dieser Vorgang von der Diffusion abhängig ist, einer näheren Bearbeitung werth. Auf Veranlassung meines hochverehrten Lehrers, Herrn Prof. Dr. *E. Wollny*, habe ich in dieser Richtung die in Folgendem beschriebenen Versuche ausgeführt und benutze ich hiermit die Gelegenheit, demselben für sein Wohlwollen und die zuvorkommende Weise, in welcher er mir sein Laboratorium zur Verfügung gestellt hat, meinen tiefgefühltesten Dank auszusprechen.

Die Versuche über die Diffusion der Kohlensäure aus dem Boden wurden sämmtlich mit Apparaten angestellt, deren Prinzip folgendermaßen angegeben werden kann. Ein Gefäß bekannter Kapazität wurde mit reiner Kohlensäure gefüllt und für eine bestimmte Zeit mit einem Zylinder in Verbindung gesetzt, welcher den mit Kohlensäure gesättigten Versuchsboden enthielt. Nach erfolgter Diffusion wurden die im Gefäß zurückgebliebenen Kohlensäuremengen ermittelt und die Differenz der auf diese Weise gefundenen Quantitäten als Diffusionsverlust angenommen.

Es kamen zwei nicht wesentlich von einander abweichende Apparate zur Verwendung. Der eine, der mit I bezeichnet werden mag, bestand aus einem unteren zylindrischen Glasgefäß und einem oberen Messingzylinder (von 19,6 qcm Querschnitt), welche durch folgende Einrichtung mit einander verbunden werden konnten. Das untere Gefäß war an dem Rande mit einer rinnenförmig vertieften, luftdicht angekitteten eisernen Fassung versehen, welche zur Aufnahme der nach unten gebogenen Ränder des gleichfalls aus Eisen hergestellten Deckels diente. Um einen gasdichten Verschluß herbeizuführen, wurde die Rinne, in welche der Deckelrand ragte, mit geschmolzenem Paraffin ausgegossen. In der Mitte des Deckels befand sich eine kreisrunde Oeffnung (von 19,6 qcm Querschnitt), um welche herum der Deckel mit einer aufgekitteten Gummiplatte versehen war. Ueber letztere konnte eine glatt geschliffene, eingefettete, länglich rechteckige Platte, an welcher in der Mitte der einen Hälfte eine 19,6 qcm weite kreisrunde Oeffnung angebracht

war, derart verschoben werden, daß letztere genau über jener des Deckels und der Gummiplatte zu liegen kam oder durch den nicht durchbohrten Theil der Platte bedeckt war, in welchem Falle das untere Gefäß vollständig abgeschlossen war. Zur Fixirung der jeweiligen Stellung der Messingplatte dienten vier Schrauben. Ueber der Oeffnung letzterer war ein 10 cm hoher Messingzylinder mit Schrauben und Gummipackung befestigt. Derselbe diente zur Aufnahme des Versuchsmaterials und war, um das Herabfallen des letzteren zu verhindern, am Boden mit einem feinmaschigen Drahtnetz versehen. Am oberen Rande trug er eine Flansche, welche es erlaubte, noch einen oder zwei gleichgestaltete, oben und unten offene (10 cm hohe) Zylinder aufzusetzen und mit ersterem in eine feste Verbindung zu setzen, wenn es sich um eine Erhöhung der Bodenschichten auf 20 und 30 cm handelte.

Durch den Deckel führten außerdem zwei oberhalb desselben rechtwinkelig gebogene, eingelöthete Messingröhren, von denen die eine bis zum Boden des Glasgefäßes herabreichte, die andere dicht unter dem Deckel endete. Diese Röhren dienten zum Einleiten des Gases, resp. zum Verdrängen desselben durch Luft und waren beide mit Hähnen versehen.

Der Apparat II hatte eine ähnliche Anordnung und unterschied sich von dem mit I bezeichneten vornehmlich dadurch, daß er in allen Theilen aus Glas gefertigt war. Der untere, zur Aufnahme der Kohlensäure dienende Behälter hatte die Form einer *Woulff*'schen Flasche (Tafel I. A). Die beiden kleineren äußeren Tuben dienten zur Aufnahme der rechtwinkelig gebogenen und mit Hähnen versehenen Gasleitungsröhren $g\ g_1$, von denen die eine dicht über dem Boden des Gefäßes, die andere nahe ihrer Einführungsstelle mündete. Der mittlere Tubus, von 22 qcm Querschnitt, besaß einen nach auswärts gebogenen, plangeschliffenen, 2 cm breiten Rand, auf welchem eine aus plangeschliffenem, dickem Glase hergestellte und auf der einen Hälfte mit einer runden Bohrung von 22 qcm Querschnitt versehene, länglich viereckige Platte *P* hin- und hergeschoben werden konnte. Ueber der Bohrung war ein Glaszylinder *Z*, der an seinem unteren Ende mit einem feinen Drahtnetz abgeschlossen war, und dessen Querschnitt ebenfalls 22 qcm betrug, mittelst eines Messingringes an der Platte luftdicht angebracht. Die betreffende Vorrichtung ermöglichte es, das Innere des

Gefäßes mit dem Zylinder in und außer Verbindung zu setzen, im letzteren Falle unter gleichzeitigem vollständig dichtem Abschluß jenes. Die untere Fläche der Glasplatte und die obere des Tubusrandes wurden mit Vaselin eingefettet und mittelst Klemmschrauben k k_1, je nach ihrer jeweiligen Lage, in eine feste Verbindung mit einander gebracht. Von diesem Apparat wurden zwei Exemplare benutzt, bei welchen der Inhalt der unteren Gefäße, wie aus den später anzuführenden Tabellen hervorgeht, etwas verschieden war.

Der Gang des Versuchs war folgender. Der mit dem Versuchsmaterial gefüllte Glaszylinder Z wurde mit einem Gummistopfen, in dessen Durchbohrung eine Gasröhre angebracht war, geschlossen und durch eine entsprechende Verschiebung der Platte, an welcher er befestigt war, mit dem unteren Glasbehälter in Verbindung gesetzt. Hierauf wurde die Leitungsröhre g_1 geschlossen und durch g Kohlensäure so lange eingeleitet, bis sich das aus der Ausmündungsröhre des Gummistopfens austretende Gas als reine Kohlensäure erwies. Nachdem dies erfolgt war, war mithin sowohl der Gasbehälter mit Kohlensäure gefüllt, als auch der Boden mit diesem Gase vollständig gesättigt. Nunmehr wurde der Apparat, indem gleichzeitig der Hahn g geschlossen wurde, in ein Wasserbad mit einer konstanten Temperatur von 20° C. gestellt. Sobald man annehmen konnte, daß die Temperatur im Innern des Apparates auf jene der Umgebung sich gestellt hatte, wurde das Barometer abgelesen, der den Glaszylinder verschließende Gummistopfen entfernt und dadurch die Diffusion in Gang gesetzt. Nach 6 resp. 10 Stunden wurde die Platte derart verschoben, daß der Gasbehälter nach oben abgeschlossen war. Die in letzterem verbliebene Kohlensäure wurde, bei geöffneten Hähnen, durch einen während eines Zeitraumes von 10 Stunden durchgeleiteten Strom trockener, kohlensäurefreier Luft verdrängt und dabei in einem gewogenen Absorptions-Apparat, welcher aus einer mit Kalilauge gefüllten *Geißler'* schen Kugelröhre und einer U förmigen Natronkalk-Röhre zusammengesetzt war, aufgefangen, nachdem der Luftstrom zuvor eine mit konzentrirter Schwefelsäure beschickte *Geißler*'sche Kugelröhre passirt hatte. Somit wurde die im Behälter zurückgebliebene Kohlensäure durch Wägung ermittelt. Da Temperatur und Luftdruck bekannt waren, konnte die Umrechnung auf Volumen leicht stattfinden. Das Gewicht von 1000 ccm Kohlensäure bei 0° und 760 mm Druck wurde = 1,96503 gr

angenommen, wonach 1 mgr = 0,5089 ccm entspricht. Das Volumen des Gasbehälters war zuvor durch Ausmessen mit Wasser von 4° C. ermittelt worden. Auf solche Weise war es möglich, die diffundirte Kohlensäure genau zu bestimmen.

Die Versuche I—IV, VII und VIII wurden mit Apparat II, die übrigen (V u. VI) mit Apparat I ausgeführt.

Versuchsreihe I.

Diffusion der Kohlensäure durch Quarzsand von verschiedener Feinheit.

Diffusionszeit: 10 Stunden. Höhe der Bodenschicht: 20 cm. Querschnitt derselben: 22 qcm. Volumen: 440 ccm. Konstante Temperatur: 20° C.

Versuch I.

Lockere Füllung.

No.	Feinheit des Kornes. mm	Gewicht des Bodens. gr	Kohlensäure bei 0° und 760 mm Druck. Im Gasbehälter vorhanden. ccm	Davon nach der Diffusion zurückgeblieben. ccm	Volumen der diffundirten Kohlensäure. ccm	Diffusions-Prozent.	Diffundirt pro 1 qcm Querschnitt. ccm
I	0,01 -0,071	520	2549,4	1230,3	1319,1	51,74	**59,9**
II	0,071-0,114	550	2545,9	1269,2	1276,7	50,15	**58,0**
III	0,114-0,171	590	2556,4	1354,2	1202,2	47,03	**54,6**
IV	0,171-0,250	620	2538,9	1336,1	1202,8	47,30	**54,6**
V	0,25 -0,50	660	2532,0	1374,5	1157,5	45,71	**52,6**
VI	0,5 -1,0	680	2528,2	1440,2	1088,0	43,04	**49,5**
VII	1 -2	690	2496,6	1396,9	1099,7	44,05	**50,0**
I—VII	0,01 -2	720	2514,3	1572,5	941,8	37,46	**42,8**

Versuch II.

Feste Füllung.

I	0,01 -0,071	625	2356,7	1312,4	1044,3	44,31	**47,5**
II	0,071-0,114	640	2373,3	1266,2	1107,1	46,65	**50,3**
III	0,114-0,171	640	2493,1	1306,8	1186,3	47,58	**53,9**
IV	0,171-0,250	660	2489,4	1357,2	1132,2	45,48	**51,5**
V	0,25 -0,50	690	2414,0	1361,8	1052,2	43,59	**47,8**
VI	0,5 -1,0	700	2420,6	1348,1	1072,5	44,31	**48,7**
VII	1 -2	720	2430,6	1379,1	1051,5	43,21	**47,8**
I—VII	0,01 -2	770	2380,2	1529,8	850,4	35,72	**38,7**

Aus diesen Zahlen ergiebt sich:

1) daß die bei lockerer Füllung durch den Boden diffundirten Kohlensäuremengen um so größer sind, je feinkörniger die Bodentheilchen, daß aber die betreffenden Unterschiede sehr gering sind;

2) daß letztere unter sonst gleichen Verhältnissen fast verschwinden, wenn der Boden sich im Zustande dichtester Lagerung befindet;

3) daß die Diffusion der Kohlensäure in dem Gemisch der verschiedenen Kornsortimente verhältnißmäßig am langsamsten vor sich geht.

Die besonders durch Satz 1 und 2 charakterisirten Erscheinungen sind insofern überraschend, als man a priori annehmen sollte, daß unter den obwaltenden Umständen nicht allein bedeutend größere Unterschiede in den diffundirten Kohlensäuremengen sich bemerkbar machen, sondern auch letztere in umgekehrter Weise, d. h. dem Korndurchmesser und demgemäß der Größe der Poren proportional ausfallen müßten. Diese scheinbaren Widersprüche lassen sich indessen leicht aufklären, wenn man das Porenvolumen einerseits und die Diffusionsgeschwindigkeit andererseits in Betracht zieht. Ersteres läßt sich berechnen, wenn man von dem Gesammtvolumen (440 ccm) den von der Bodenmasse eingenommenen Raum, der sich aus dem spezifischen Gewicht derselben (2,622)[1]) ergiebt, in Abzug bringt. Hiernach läßt sich die Summe der Querschnitte der Poren und gleichzeitig die Geschwindigkeit des Diffusionsstromes bestimmen, indem man die beobachtete Gasmenge mit dem Querschnitt dividirt und auf die Zeiteinheit (1 Sekunde) berechnet. Die in dieser Weise ermittelten Daten weist die folgende Tabelle nach.

---

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. VIII. 1885. S. 347.

Nr.	Feinheit des Kornes. mm	Lockere Lagerung. Porenvolumen der Bodensäule. ccm	Poren des Querschnittes. qcm	Geschwindigkeit des Diffusionsstromes per Sek. cm	Diffundirte Kohlensäuremenge pro qcm [1]. ccm	Dichte Lagerung. Porenvolumen der Bodensäule. ccm	Poren des Querschnittes. qcm	Geschwindigkeit des Diffusionsstromes per Sek. ccm	Diffundirte Kohlensäuremenge pro qcm [1] ccm
I	0,01 -0,071	241,7	12,085	0,00303	**109,2**	201,7	10,085	0,00288	**103,5**
II	0,071-0,114	230,2	11,510	0,00308	**110,9**	195,9	9,795	0,00314	**113,0**
III	0,114-0,171	215,0	10,750	0,00311	**111,9**	195,9	9,795	0,00337	**121,1**
IV	0,171-0,250	203,5	10,175	0,00329	**118,2**	188,3	9,415	0,00334	**120,2**
V	0,25 -0,50	188,3	9,415	0,00341	**122,9**	176,8	8,840	0,00331	**119,0**
VI	0,5 -1,0	180,7	9,035	0,00325	**116,9**	173,1	8,655	0,00344	**123,9**
VII	1 -2	176,8	8,840	0,00346	**124,4**	165,4	8,270	0,00353	**127,2**
I—VII	0,01 -2	165,4	8,270	0,00316	**113,8**	146,3	7,315	0,00323	**116,2**

Aus dieser Tabelle erhellt, daß das Porenvolumen sich in dem Maße vermindert, als der Korndurchmesser zunimmt. In dem Betracht, daß der Gang der Diffusion in einem gleichen Sinne erfolgt, wird in ungezwungener Weise geschlossen werden dürfen, daß das Porenvolumen an erster Stelle für die aus dem Boden auf dem Wege der Diffusion an die Atmosphäre tretenden Kohlensäuremengen maßgebend ist. Allerdings macht sich in den Zahlen vorliegender Tabelle auch der Einfluß der Größe der Poren bemerkbar, insofern die pro qcm der Poren des Querschnittes geförderte Kohlensäuremenge und demgemäß die Diffusionsgeschwindigkeit mit dem Korndurchmesser eine Zunahme erfährt, aber die bezüglich letzterer hervortretenden Unterschiede sind so gering, daß sie kaum in Betracht kommen; wenigstens sind dieselben verschwindend klein gegenüber denjenigen, welche bei dem unter Druck stattfindenden Durchschnitt der Luft oder Gase durch Böden von verschiedener Feinheit der Partikel beobachtet werden[2]).

Dafür, daß die Größe der Poren, die in den vorliegenden Versuchen sich innerhalb sehr weiter Grenzen bewegte[3]), für die diffundirten Gasmengen von so außerordentlich geringem Einfluß sich erwiesen, ist hauptsächlich die aus den betreffenden Rubriken zu ersehende Thatsache, daß die Geschwindigkeit des Diffusionsstromes bei konstanter Temperatur eine

[1]) Pro qcm der Poren des Querschnittes in 10 Stunden.
[2]) Diese Zeitschrift. Bd. II. 1879. S. 339 u. Bd. III. 1880. S. 209.
[3]) Diese Zeitschrift. Bd. VIII. 1885. S. 1.

minimale ist, wohl in Anspruch zu nehmen. Unter derartigen Umständen können die seitens des Bodens bei verschiedener physikalischer Beschaffenheit dem Diffusionsstrom sich entgegenstellenden Widerstände von nur geringer Wirkung sein.

Bemerkenswerth ist die Thatsache, daß, während die absoluten Kohlensäuremengen, welche durch das Gemisch der verschiedenen Kornsortimente diffundirten, kleiner waren, als bei jedem der letzteren, sich die pro qcm der Poren des Querschnittes berechneten (relativen) im Mittel der bei den übrigen Materialien festgestellten befanden. In dieser Beziehung würde das Verhalten des Gemisches sich jenem analog erwiesen haben, welches dasselbe bei dem Durchtritt von Luft und Wasser[1]) unter Druck zeigt. Eine besondere Bedeutung ist aber dieser Erscheinung im Hinblick auf die Geringfügigkeit der bezüglichen Unterschiede nicht beizumessen.

Im Anschluß an die vorstehend mitgetheilten wurde ein weiterer Versuch mit Ammoniakgas ausgeführt, um festzustellen, in wieweit die im Bisherigen ermittelten Gesetzmäßigkeiten auch für andere Gase Giltigkeit haben.

Versuch III.

Diffusion des Ammoniakgases durch Quarzsand von verschiedener Feinheit.

Diffussionszeit: 10 Stunden. Höhe der Bodenschicht: 20 cm. Querschnitt derselben: 22 qcm. Volumen: 440 ccm. Konstante Temperatur: 20° C.

No.	Feinheit des Kornes.	Gewicht des Bodens.	Ammoniakgas bei 0° u. 760 ccm Druck.					Porenvolumen der Bodensäule.	Poren des Querschnittes.	Geschwindigkeit des Diffusionsstromes pro Sek.	Diffundirtes Gas pro qcm[2]).
			Im Gasbehälter vorhanden.	Davon nach der Diffusion zurückgeblieben.	Volumen des diffundirten Gases.	Diffusionsprozent.	Diffundirt pro 1 qcm Querschnitt.				
	mm	g	ccm	ccm	ccm		ccm	ccm	qcm	cm	ccm
I	0,01 –0,071	520	2556,4	853,7	1702,7	66,60	**77,4**	241,7	12,085	0,00391	**140,8**
II	0,071–0,114	550	2549,4	929,2	1620,2	63,55	**73,6**	230,2	11,510	0,00391	**140,8**
III	0,114–0,171	590	2556,4	942,4	1614,0	63,10	**73,4**	215,0	10,750	0,00417	**150,1**
IV	0,171–0,250	620	2538,9	958,2	1580,7	62,20	**71,9**	203,5	10,175	0,00431	**155,3**
V	0,25 –0,50	660	2538,9	1059,7	1479,2	58,26	**67,2**	188,3	9,415	0,00437	**157,1**
VI	0,5 –1,0	680	2549,4	1084,8	1464,6	57,45	**66,6**	180,7	9,035	0,00450	**162,1**
VII	1 –2	690	2559,8	1115,2	1444,6	56,43	**65,7**	176,8	8,840	0,00454	**163,4**
I–VII	0,01 –2	720	2538,9	1262,8	1276,1	50,26	**58,0**	165,4	8,270	0,00429	**154,3**

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XIV. 1891. S. 1.

[2]) Pro 1 qcm der Poren des Querschnittes in 10 Stunden.

Die Ergebnisse dieses Versuchs stimmen sonach mit den bei der Diffusion der Kohlensäure gefundenen vollständig überein.

Versuchsreihe II.

Diffusion der Kohlensäure bei verschiedener Struktur des Bodens.

Versuch IV.

Einzelkorn- und Krümelstruktur.

(Lehm.)

Diffusionszeit: 10 Stunden. Höhe der Bodenschicht: 20 cm. Querschnitt derselben: 22 qcm. Volumen: 440 ccm. Konstante Temperatur: 20° C.

No.	Struktur.	Feinheit der Theilchen resp. der Krümel. mm	Gewicht des Bodens. gr	Kohlensäure bei 0° und 760 mm Druck. Im Gasbehälter vorhanden. ccm	Davon nach der Diffusion zurückgeblieben. ccm	Volumen des diffundirten Gases. ccm	Diffusionsprozent.	Diffundirt pro 1 qcm Querschnitt. ccm
I	Einzelkornstr.	<0,25	445	2386,9	1013,7	1373,2	57,53	**62,4**
II	Krümelstruktur.	0,5 —1,0	440	2414,0	1095,2	1318,8	54,63	**60,0**
III		1 —2	433	2433,9	1084,5	1349,4	55,44	**61,7**
IV		2 —4	420	2500,1	1124,7	1375,4	55,01	**62,5**
V		4,0 —6,75	405	2370,0	994,9	1375,1	58,02	**62,5**
VI		6,75—9,0	392	2510,5	1004,1	1506,4	60,00	**68,5**

Diese Zahlen weisen, analog den in den bisherigen Versuchsreihen mitgetheilten, nach, daß die diffundirten Kohlensäuremengen bei verschiedener Struktur des Bodens fast ganz gleich sind. Dies ergeben auch die nach dem oben angegebenen Verfahren berechneten Daten für die pro 1 qcm des Querschnittes der Poren diffundirten Gasmengen und die Diffusionsgeschwindigkeit, wie aus folgenden Zahlen ersichtlich ist:

No.	Struktur.	Feinheit der Theilchen resp. der Krümel. mm	Porenvolumen der Bodensäule. ccm	Poren des Querschnittes. qcm	Geschwindigkeit des Diffusionsstromes pro Sek. cm	Diffundirtes Gas pro 1 qcm. ccm
I	Einzelkornstr.	<0,25	270,3	13,515	0,00282	**101,6**
II	Krümelstr.	0,5 —1,0	272,2	13,610	0,00269	**96,9**
III	Krümelstr.	1,0 —2,0	274,9	13,745	0,00273	**98,2**
IV	Krümelstr.	2 —4	279,8	13,990	0,00273	**98,3**
V	Krümelstr.	4,0 —6,75	285,5	14,275	0,00268	**96,3**
VI	Krümelstr.	6,75—9,0	290,5	14,525	0,00288	**103,7**

Sonach haben sich die großen Lücken, welche in dem krümeligen Boden vorhanden sind, ohne Einfluß auf die Diffusion erwiesen, ein Resultat, welches man noch weniger als jenes bei dem verschieden feinen Quarzsande gewonnene hätte im Voraus erwarten sollen. In Rücksicht auf die nunmehr bekannte Thatsache, daß das Porenvolumen von hervorragendstem Einfluß auf die Diffusion ist, läßt sich allerdings die betreffende Erscheinung in einfacher Weise aus den geringen Unterschieden in dem von den Poren des Querschnittes eingenommenen Raum erklären.

Versuch V.

Lockere und dichte Lagerung der Bodentheilchen.

In diesem Versuch wurden drei verschiedene Bodenarten im pulverförmigen Zustande (< 0,25 mm) verwendet, welche theils locker, unter sanftem Aufstampfen des Gefäßes, theils mehr oder weniger fest durch Einstampfen der einzelnen Schichten von 1 cm Mächtigkeit mit Hilfe eines Stempels von entsprechendem Querschnitt eingefüllt wurden.

Diffusionszeit: 6 Stunden. Höhe der Bodenschicht: 20 cm. Querschnitt derselben: 19,6 qcm. Volumen: 392 ccm. Konstante Temperatur: 20° C.

Bodenart.	Art der Lagerung.	Gewicht des Bodens. gr	Kohlensäure bei 0° und 760 mm Druck. Im Gasbehälter vorhanden. ccm	Davon nach der Diffusion zurückgeblieben. ccm	Volumen des diffundirten Gases. ccm	Diffusionsprozent.	Diffundirt pro 1 qcm Querschnitt. ccm
Kaolin.	locker	200	1924,0	766,9	1157,1	60,14	**59,1**
	mitteldicht	320	1860,6	967,9	892,7	47,98	**45,6**
	dicht	420	1863,2	1216,3	646,9	34,72	**37,3**

Bodenart.	Art der Lagerung.	Gewicht des Bodens. gr	Kohlensäure bei 0° und 760 mm Druck.				
			Im Gasbehälter vorhanden. ccm	Davon nach der Diffusion zurückgeblieben. ccm	Volumen des diffundirten Gases. ccm	Diffusionsprozent.	Diffundirt pro 1 qcm Querschnitt. ccm
Lehm.	locker	350	1881,8	926,7	955,1	50,75	**48,7**
	mitteldicht	450	1900,3	1080,4	819,9	43,15	**41,8**
	dicht	575	1908,1	1344,0	564,1	29,56	**28,8**
Humoser Kalksand.	locker	400	1866,0	1052,9	813,1	43,58	**41,5**
	mitteldicht	450	1881,8	1150,1	731,7	38,88	**37,3**
	dicht	550	1908,1	1301,3	606,8	29,90	**28,9**

Unter Berücksichtigung der spezifischen Gewichte der Bodenarten[1]) (Kaolin = 2,503; Lehm = 2,622; Humoser Kalksand = 2,406) berechnet sich das Porenvolumen, die Poren des Querschnittes, die Diffusionsgeschwindigkeit und die pro 1 qcm der Poren des Querschnittes diffundirte Kohlensäuremenge, wie folgt:

Bodenart.	Art der Lagerung.	Porenvolumen der Bodensäule. ccm	Poren des Querschnittes. qcm	Geschwindigkeit des Diffusionsstromes pro Sek. cm	Diffundirtes Gas pro 1 qcm[2]). ccm
Kaolin.	locker	322,1	16,105	0,00332	**71,8**
	mitteldicht	264,2	13,210	0,00313	**67,6**
	dicht	224,2	11,210	0,00268	**57,7**
Lehm.	locker	258,5	12,925	0,00342	**73,9**
	mitteldicht	220,4	11,020	0,00344	**74,4**
	dicht	172,7	8,635	0,00302	**65,3**
Humoser Kalksand.	locker	225,8	11,290	0,00333	**72,0**
	mitteldicht	205,0	10,250	0,00330	**71,4**
	dicht	163,4	8,170	0,00343	**74,2**

Aus den Daten der ersten Tabelle würde sich ergeben, daß die Diffusion der Kohlensäure in dem Maße abnimmt, als die

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. VIII. 1885. S. 347 u. 348.

[2]) Pro qcm der Poren des Querschnittes in 6 Stunden.

Bodentheilchen enger an einander gelagert sind. Ohne Kenntniß der einschlägigen Verhältnisse würde man die Ursachen dieser Erscheinung ohne Weiteres auf die dem ausgeübten Druck entsprechende Verkleinerung der Bodenporen und die damit verknüpfte Vermehrung der dem Diffusionsstrome sich entgegenstellenden Widerstände zurückführen. Indessen lehren die Zahlen der zweiten Tabelle, daß man damit einen Fehlschluß machen würde, weil die Diffusionsgeschwindigkeit und die pro 1 qcm des Querschnittes geförderten Gasmengen bei zunehmender Verdichtung zunächst gar keine und erst dann eine durch mäßige Abnahme der Geschwindigkeit sich dokumentirende Veränderung erfahren, wenn die Poren in besonders starkem Grade verdichtet werden (Kaolin und Lehm in dichtem Zustande). Die Größe der Poren hat sonach auch in diesem Falle keine oder eine nur unmerkliche Wirkung auf die austretenden Gasmengen, dagegen zeigt sich in Uebereinstimmung mit den bisher mitgetheilten Ergebnissen, daß die Unterschiede in den Porenvolumen jene in den geförderten Kohlensäuremengen hervorgerufen haben. Hiernach würde ganz allgemein die Schlußfolgerung abzuleiten sein, **daß für die Diffusion der Kohlensäure (resp. der Gase) aus dem Boden, unter sonst gleichen Umständen, vor Allem das Porenvolumen und nicht die Größe der Poren maßgebend ist.**

Versuchsreihe III.

Diffusion der Kohlensäure bei verschiedener Mächtigkeit der Bodenschicht.

Versuch VI.

Diffusionszeit: 6 Stunden. Höhe der Bodenschicht: 10, 20 und 30 cm. Querschnitt derselben: 19,6 qcm. Volumen: 196, 392 resp. 588 ccm. Konstante Temperatur: 20° C. Böden: pulverförmig. Lockere Füllung.

Bodenart.	Mächtigkeit der Bodenschicht. cm	Gewicht des Bodens. gr	Kohlensäure bei 0° und 760 mm Druck.				
			Im Gasbehälter vorhanden. ccm	Davon nach der Diffusion zurückgeblieben. ccm	Volumen des diffundirten Gases.	Diffusionsprozent.	Diffundirt pro 1 qcm Querschnitt. ccm
Kaolin.	10	100	1916,1	351,1	1565,0	81,67	**79,9**
	20	200	1924,0	766,9	1157,1	60,14	**59,1**
	30	300	1924,0	1026,7	897,3	46,64	**45,8**

Bodenart.	Mächtigkeit der Bodenschicht. cm	Gewicht des Bodens. gr	Kohlensäure bei 0° und 760 mm Druck. Im Gasbehälter vorhanden. ccm	Davon nach der Diffusion zurückgeblieben. ccm	Volumen des diffundirten Gases.	Diffusionsprozent.	Diffundirt pro 1 qcm Querschnitt. ccm
Lehm.	10	175	1866,0	489,6	1376,4	73,76	**70,2**
	20	350	1881,8	926,7	955,1	50,75	**48,7**
	30	525	1881,8	1195,9	685,9	36,45	**35,0**
Humoser Kalksand.	10	200	1873,8	595,9	1277,9	68,17	**65,2**
	20	400	1866,0	1052,9	813,1	43,58	**41,5**
	30	600	1863,2	1271,2	592,0	31,77	**31,8**

Nach diesen Zahlen nimmt die diffundirte Gasmenge ab, je mächtiger die Bodenschicht ist, aber nicht proportional der Höhe der Schicht, sondern in einem geringeren Verhältniß, denn die Höhen der Bodenschichten verhielten sich wie

		1	:	2	:	3
die geförderten Gasmengen dagegen wie	Kaolin	1	:	0,74	:	0,57
	Lehm	1	:	0,69	:	0,50
	Kalksand	1	:	0,64	:	0,49,

während bei voller Proportionalität zwischen Mächtigkeit der Bodenschicht und diffundirter Gasmenge das Verhältniß sich wie

1 : 0,50 : 0,33

hätte gestalten müssen. Immerhin sind die beobachteten Unterschiede groß genug, um die Schichthöhe bei den betreffenden Vorgängen als belangreich und darnach die Schlußfolgerung als berechtigt erscheinen zu lassen, daß mit der Länge des Weges, den der Diffusionsstrom zurückzulegen hat, die Widerstände zunehmen, welche er zu überwinden hat.

Versuchsreihe IV.

Diffusion der Kohlensäure bei verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens.

Während in den bisherigen Reihen nur lufttrockenes Material in Verwendung kam, wurde in vorliegender Reihe der Boden mit verschiedenen Feuchtigkeitsmengen versehen. Dabei wurde diejenige Wasser-

menge, welche das Erdreich bei größter Wasserkapazität zu fassen vermag (= 100 gesetzt) zu Grunde gelegt. Bei den verwendeten Materialien (Quarzsand I und das Gemisch desselben aus I—VII) beträgt die größte Wasserkapazität 44,90 resp. 28,52 Vol. % [1]). Hiernach läßt sich die absolute Wassermenge bei jedem beliebigen Volumen, sowie auch jene berechnen, welche der Boden bei 80, 60, 40 und 20% jener Maximalmenge enthalten würde. In dieser Weise wurden die Abstufungen in der Bodenfeuchtigkeit festgestellt. Die sich hierbei ergebenden Quantitäten Wassers wurden in einer Porzellanschale mit dem Material innigst gemischt, worauf letzteres, behufs möglichster Einschränkung der Verdunstung, thunlichst schnell in die Gefäße gefüllt wurde. Auch in diesen Versuchen wurde der Boden, ehe die Diffusion in Gang gesetzt wurde, mit Kohlensäure gesättigt.

Versuch VII.

Diffusionszeit: 10 Stunden. Höhe der Bodenschicht: 20 cm. Querschnitt derselben: 22 qcm. Bodenvolumen 440 ccm. Konstante Temperatur: 20° C.

Beschaffenheit des Bodens.

A.

Quarzsand.	Feinheit des Kornes. mm	Gewicht des Bodens. gr	Wassergehalt in Proz. der Maximalmenge.	Absoluter Wassergehalt. ccm	Porenvolumen der Bodensäule. ccm	Volumen der Poren mit Luft. ccm	Lufterfüllte Poren des Querschnittes. qcm
I	0,01-0,071	520	0	0	241,7	241,700	12,085
		520	20	39,512	241,7	202,188	10,109
		520	40	79,024	241,7	162,676	8,134
		520	60	118,536	241,7	123,164	6,158
		520	80	158,048	241,7	83,652	4,182
I—VII	0,01-2,0	720	0	0	165,4	165,400	8,270
		720	20	25,096	165,4	140,304	7,015
		720	40	50,192	165,4	115,208	5,760
		720	60	75,288	165,4	90,112	4,505
		720	80	100,384	165,4	65,016	3,251

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. VIII. 1885. S. 195.

Ueber die Diffusion der Kohlensäure giebt folgende Tabelle Aufschluß:

B.

Quarz sand.	Feinheit des Kornes. mm	Wassergehalt in Proz. der Maximalmenge.	Kohlensäure bei 0° u. 760 mm Druck. Im Gasbehälter vorhanden. ccm	Davon nach der Diffusion zurückgeblieben. ccm	Volumen der diffundirten Kohlensäure. ccm	Diffusionsprozent.	Diffundirt pro 1 qcm Querschnitt. ccm	Geschwindigkeit des Diffusionsstromes pro Sek. cm	Diffundirte Kohlensäuremenge pro qcm[1]). ccm
I	0,01–0,071	0	2549,4	1230,3	1319,1	51,7	**59,9**	0,00303	**109,2**
		20	2528,2	1479,4	1048,8	41,5	**47,7**	0,00263	**103,7**
		40	2524,7	1776,1	748,6	29,6	**34,0**	0,00256	**92,0**
		60	2390,2	2058,5	331,7	13,8	**15,1**	0,00149	**53,9**
		80	2535,4	2459,0	76,4	3,0	**3,4**	0,00051	**18,8**
I—VII	0,01–2,0	0	2514,3	1572,5	941,8	37,5	**42,8**	0,00316	**113,8**
		20	2528,2	1698,7	829,1	32,8	**37,7**	0,00328	**118,0**
		40	2521,2	1963,8	557,4	22,1	**25,3**	0,00269	**96,8**
		60	2549,4	2226,8	322,6	12,6	**14,6**	0,00199	**71,6**
		80	2545,9	2545,0	0,9	0,0	**0,0**	0,00000	**0,3**

Abgesehen von Nebenumständen lassen diese Zahlen deutlich erkennen, daß die Diffusion der Kohlensäure sich mit zunehmendem Wassergehalt stetig vermindert, und daß bereits bei 80 % der Maximalwassermenge die austretenden Gasmengen ganz oder beinahe auf Null herabsinken. Zur Erklärung der betreffenden Gesetzmäßigkeiten ist die Thatsache heranzuziehen, daß mit zunehmendem Wassergehalt des Erdreichs das Porenvolumen sich in beträchtlichem Grade verringert, d. h. der für die Leitung des Diffusionsstromes verbleibende freie Raum immer kleiner wird (Tabelle A). Dafür daß noch andere Momente mit hinzutreten, spricht der Umstand, daß die Diffusionsgeschwindigkeit, resp. die pro qcm der Poren des Querschnittes geförderte Gasmenge bei der Erhöhung des Wassergehaltes keine gleichmäßige, sondern bis ca. 40 % eine mäßige und darüber hinaus eine rapide Abnahme erfährt. Das Gemisch der verschiedenen Kornsortimente wies bei 20 % der größten Wasserkapazität sogar eine im Vergleich zum trocknen Zustande erhöhte Diffusionsgeschwindigkeit auf[2]). Aller Wahrscheinlichkeit nach beruhen diese

[1]) Pro qcm der Poren des Querschnittes in 10 Stunden.

[2]) Diese Zeitschrift. Bd. III. 1880. S. 236.

eigenthümlichen Erscheinungen im Gange der Diffusion darauf, daß bei sandigen Böden von der Beschaffenheit der in vorliegenden Versuchen verwendeten, bei der Mischung mit verhältnißmäßig geringen Wassermengen Aggregate und in Folge dessen größere Lücken in der Bodenmasse entstehen, die den Durchtritt des Gases erleichtern. Ueber 40 % der größten Wasserkapazität verschwinden diese Zusammenlagerungen der Bodentheilchen mit zunehmendem Wassergehalt vollständig, derart, daß der Boden in den Zustand der Einzelkornstruktur übergeht und damit das Wasser durch Erfüllung der Bodenporen zur vollen Wirkung auf die Diffusion der Gase gelangt.

Vergleicht man die vorliegenden mit den übrigen Daten, so sieht man, daß, neben einer mehr oder weniger dichten Aneinanderlagerung der Bodentheilchen und der Mächtigkeit der Bodenschicht, das Wasser für die absoluten Mengen der diffundirten Kohlensäure, auf welche es bei der Beurtheilung der Vorgänge in der Natur am meisten ankommt, von maßgebendstem Einfluß ist. Es wird hieraus gefolgert werden dürfen, daß je nach der physikalischen Beschaffenheit des Erdreiches, von welcher vornehmlich die in letzterem aufgespeicherten Wassermengen abhängig sind, die Diffusion der Kohlensäure eine sehr verschiedene sein werde. Je größer die Wasserkapazität ist, um so größer werden die diffundirten Gasmengen sein, und umgekehrt. Bei der Mannigfaltigkeit der diesbezüglichen Verhältnisse würde es eine zeitraubende Arbeit gewesen sein, den Einfluß verschiedener Wassermengen bei verschiedenen Bodenarten durch weitere Versuche festzustellen. Es dürfte genügen, wenn an der Hand der Ergebnisse der zu vorliegendem Zweck verwerthbaren Untersuchungen[1]) an einigen Beispielen die in Rede stehenden Wirkungen veranschaulicht werden. Ich habe in den folgenden Tabellen zu diesem Behufe einige Zahlen zusammengestellt, welche, in Anlehnung an die bisher mitgetheilten Versuche für eine Höhe der Bodenschicht von 20 cm und 22 qcm Querschnitt berechnet, die vom Wasser und der Luft (Porenvolumen) erfüllten Porenräume bei kleinster und größter Wasserkapazität angeben.

---

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. VIII. 1885. S. 195 u. 197.

A. Quarzsand von verschiedener Feinheit.

No.	Feinheit der Bodentheilchen. mm	Kleinste Wasserkapazität. Vol. %	Größte Wasserkapazität. Vol. %	Kleinste Wasserkapazität. Volumen der Poren mit Wasser. ccm	Kleinste Wasserkapazität. Volumen der Poren mit Luft. ccm	Größte Wasserkapazität. Volumen der Poren mit Wasser. ccm	Größte Wasserkapazität. Volumen der Poren mit Luft. ccm
I	0,01 -0,071	35,56	44,90	156,464	**85,236**	197,560	**44,140**
II	0,071-0,114	33,27	44,46	146,388	**83,812**	195,625	**34,575**
III	0,114-0,171	6,03	42,30	26,532	**188,468**	186,120	**28,880**
IV	0,171-0,250	5,08	40,20	22,352	**181,148**	176,880	**26,620**
V	0,25 -0,50	4,38	38,69	19,272	**169,028**	170,236	**18,064**
VI	0,5 -1,0	4,14	37,10	18,216	**162,484**	163,240	**17,460**
VII	1 -2	3,66	34,52	16,104	**160,696**	141,898	**34,902**
I–VII	0,01 -2,0	11,89	28,52	52,316	**113,084**	125,476	**39,924**

B. Einzelkorn- und Krümelstruktur.

(Lehm.)

I	Einzelkornstr.	<0,25	42,91	48,34	188,808	**81,492**	212,696	**57,604**
II	Krümelstr.	0,5 -1,0	31,51	47,76	138,644	**133,556**	210,144	**62,056**
III	Krümelstr.	1,0 -2,0	31,05	47,86	136,620	**138,280**	210,584	**64,316**
IV	Krümelstr.	2,0 -4,0	32,62	44,56	143,528	**136,272**	196,064	**83,736**
V	Krümelstr.	4,0 -6,75	32,32	42,37	142,208	**143,292**	186,428	**99,072**
VI	Krümelstr.	6,75-9,00	32,15	40,13	141,460	**149,040**	176,572	**113,928**
I—VI	Krümelstr.	0,0 -9,0	30,77	39,65	135,388	**145,212**	174,460	**106,140**

Aus diesen Zahlen wird zunächst deutlich ersichtlich, daß der für die Diffusion zur Verfügung stehende Porenraum bei dem Vorhandensein solcher Wassermengen, welche in dem entwässerten Boden vorkommen (kleinste Wasserkapazität) in den grobkörnigen Materialien, sowie bei krümeliger Beschaffenheit ungleich größer sind als bei den feinkörnigen, resp. den im Zustand der Einzelkornstruktur befindlichen. Es wird hieraus geschlossen werden dürfen, daß unter natürlichen Verhältnissen, d. i. bei feuchter Beschaffenheit des Bodens, im Gegensatz zu den in den Versuchen I—IV ermittelten Thatsachen, die physikalische Beschaffenheit des Erdreichs auf die Diffusion der Gase einen bestimmenden Einfluß ausüben wird, der sich dahin präzisiren läßt, daß die diffundirten Gasmengen im grobkörnigen und krümeligen Boden ungleich größer sind als im feinkörnigen, resp. pulverförmigen. Bei größter Wasserkapazität,

die indessen weniger in Betracht kommt, weil in diesem Zustande das Land an Nässe leiden würde, ist der für die Diffusion disponible Raum so klein, daß der Austausch zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft mehr oder weniger vollständig aufhört. Eine Ausnahme hiervon macht der krümelige Boden, der auch unter solchen Umständen für den betreffenden Vorgang einen zwar beschränkten, aber immerhin genügenden Raum zur Verfügung hat. Von solchen, wie den vorstehend entwickelten, Gesichtspunkten wird der Gang des Diffusionsprozesses in der Natur zu beurtheilen sein.

Bezüglich des Einflusses des Wassers auf die Menge der diffundirten Kohlensäure kommt noch ein Moment in Betracht, welches nicht vernachlässigt werden darf. Wenn nämlich dem Boden Wasser aus der Atmosphäre zugeführt wird, so sättigt sich vielfach die oberste Schicht mit Wasser, bevor letzteres, und zwar allmählich, in die Tiefe vordingt; dadurch wird die Bodenatmosphäre mehr oder weniger abgeschlossen, was zur Folge haben muß, daß sich die Diffusion in dem gleichen Maße vermindert. Um dies ziffermäßig nachzuweisen, wurde von mir folgender Versuch ausgeführt.

Versuch VIII.

Diffusionszeit: 10 Stunden. Höhe der Bodenschicht: 20 cm. Querschnitt derselben: 22 qcm. Volumen: 440 ccm. Konstante Temperatur: 20° C.

Quarzsand.	Beschaffenheit des Materials.	Gewicht des Bodens. gr	Kohlensäure bei 0° und 760 mm Druck.				
			Im Gasbehälter vorhanden. ccm	Davon nach der Diffusion zurückgeblieben. ccm	Volumen des diffundirten Gases. ccm	Diffusionsprozent.	Diffundirt pro 1 qcm Querschnitt. ccm
I	Trocken	520	2549,4	1230,3	1319,1	51,74	**59,9**
	10 mm hoch mit Wasser begossen	520	2542,4	2066,1	476,3	18,7	**21,7**
I—VII	Trocken	720	2514,3	1572,5	941,8	37,46	**42,8**
	10 mm hoch mit Wasser begossen	720	2538,9	2385,2	153,7	6,1	**6,9**

In der That wird, wie vorausgesetzt, die Diffusion der Kohlensäure aus dem feinkörnigen Boden beträchtlich herabgedrückt,

sobald von oben her eine Durchfeuchtung der zu Tage tretenden Schichten erfolgt. Ganz ähnlich werden sich alle übrigen Bodenarten verhalten, in welche das Wasser nur langsam eindringen kann, und bei welchen bei atmosphärischer Zufuhr die obersten Erdschichten sich mehr oder weniger mit Wasser sättigen. Bei Böden dagegen, in welchen das Wasser leicht versickert, und welche in Folge lockerer und krümeliger Beschaffenheit bei Befeuchtung in den größeren Poren mit Luft erfüllt bleiben, wird die geschilderte Erscheinung in minderem Grade hervortreten.

Faßt man sämmtliche Gesetzmäßigkeiten zusammen, welche in vorstehenden Versuchen ermittelt wurden, so lassen sich diese durch folgende Sätze präzisiren.

1) *Die Diffusion der Kohlensäure aus dem Boden ist bei konstanter Temperatur hauptsächlich von der Summe der Poren der Querschnitte abhängig. Daher sind die absoluten Mengen des diffundirten Gases um so größer, je größer das Gesammt-Porenvolumen ist, und umgekehrt.*

2) *Jede Verminderung des Porenvolumens, wie solche durch Verdichtung des Bodens oder durch einen mehr oder weniger hohen Feuchtigkeitsgehalt bedingt ist, hat eine Abnahme der geförderten Gasmengen zur Folge. Die Abgabe der Kohlensäure der Bodenluft an die Atmosphäre auf dem Wege der Diffusion ist daher um so geringer, je feinkörniger der Boden ist, je dichter sich die Bodentheilchen an einander lagern und je größer die Wasserkapazität des Erdreiches ist, und vice versa.*

3) *Die diffundirte Kohlensäuremenge verringert sich in um so höherem Grade, je mächtiger die Bodenschicht ist, aber nicht proportional der Höhe der Schicht, sondern in einem kleineren Verhältniß.*

4) *In Bodenarten, welche sich bei atmosphärischer Zufuhr mit Wasser sättigen, und in welche überhaupt die Niederschläge langsam eindringen, wird in Folge dieses Verhaltens dem Wasser gegenüber die Diffusion der Kohlensäure mehr oder weniger beträchtlich herabgedrückt.*

In Bezug auf die Frage der Verwerthbarkeit dieser Sätze für die Beurtheilung der einschlägigen Vorgänge in der Natur, sei schließlich

darauf hingewiesen, daß dieselben zwar geeignet sein dürften, in dieser Richtung mancherlei Fingerzeige abzugeben, daß sie aber trotzdem ein vollständiges Bild von den obwaltenden Verhältnissen insofern nicht zu liefern vermögen, als sie aus Versuchen abgeleitet wurden, in welchen die über einander lagernden Luftschichten sich unter übrigens gleichen Umständen befanden, während in Wirklichkeit verschiedene Einwirkungen anderer Art hinzutreten und die bei dem Austritt der Kohlensäure an die Atmosphäre sich abspielenden Prozesse beeinflussen. Hierher sind alle Momente zu rechnen, durch welche, neben dem einfachen Diffusionsvorgang, eine mehr oder weniger starke Bewegung der Bodenluft, wie solche z. B. durch Luftdruckschwankungen, Temperaturunterschiede zwischen Boden und Atmosphäre, besonders aber durch Winde, veranlaßt wird. Inwieweit hierdurch eine Abänderung der Erscheinungen hervorgerufen wird, haben weitere Beobachtungen aufzuhellen.

Neue Litteratur.

***F. Kerner von Marilaun.* Die Aenderung der Bodentemperatur mit der Exposition.** Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wissensch. Math.-nat. Klasse. Bd. C. Abthlg. IIa. Mai 1891. — Meteor. Zeitschrift. 1891. Heft 12. S. [80].

Ueber die Aenderung der Bodentemperatur mit der Exposition sind vom Verf. Beobachtungen in den Jahren 1867, 1868 und 1869 im Innthal bei Innsbruck in 780 m Seehöhe angestellt worden[1]). An den stark geneigten Gehängen eines isolirten Hügels, der ringsum mit Gras bewachsen war, wurde um die Mitte eines jeden Monats die Bodentemperatur in 80 cm Tiefe nach der *Bischoff*'schen Methode bestimmt. Gleichfalls auf Veranlassung des Verf. wurden ferner genau nach demselben Verfahren entsprechende Beobachtungen 3 Jahre lang (Oktober 1887 bis September 1890) zu Trins im Gschnitzthal südlich von Innsbruck in 1340 m Höhe ausgeführt. Diese beiden Beobachtungsreihen boten dem Verf. das Material für die vorliegende Untersuchung.

Sind auch die kurzen Beobachtungsreihen nicht genügend, um normale Werthe zu liefern, so zeigen sie doch die Unterschiede der Expositionen in zuverlässiger Weise. Denn die Veränderlichkeit der Temperaturdifferenzen zwischen verschiedenen Expositionen ist weit kleiner als die Veränderlichkeit der Bodentemperatur selbst: die mittlere Abweichung der Einzelbeobachtungen vom 3jährigen Mittel beträgt bei den Temperaturen 0,75°, bei den Temperaturdifferenzen zwischen den Expositionen aber im Innthal nur 0,27° und im Gschnitzthal 0,33°.

Verf. begnügte sich nicht mit einer tabellarischen Zusammenstellung seines Materials, sondern stellte dasselbe durch ein Isoplethen-Diagramm (Choro-Chrono-Isothermen) auch graphisch dar. Auf die x-Axe wurden die Zeiten, längs der y-Axe die Expositionen und entlang der z-Axe die Temperaturwerthe aufgetragen. Die so erhaltene ideale Temperaturfläche wurde durch äquidistante, der Horizontalebene (Ebene der x- und y-Axe) parallele Ebenen geschnitten und die hierbei entstandenen Schnittkurven auf die Horizontalebene projizirt. Diese Kurven-Projektionen sind auf 2 Tafeln dargestellt, einer für das Innthal und einer für das Gschnitzthal. «Die beiden Isothermentafeln gestatten es, die Aenderung der Bodentemperatur mit der Exposition für jeden beliebigen Jahrestag und die Aenderung der Bodentemperatur mit der Zeit für jede beliebige Weltgegend zu bestimmen und gewähren so im Gegensatz zur diskontinuirlichen Darstellung durch die Monatsmittel der acht Hauptexpositionen ein kontiniurliches Bild der Temperaturvertheilung.» Das erhaltene Bild ist in der That ein sehr klares; doch dürfte Verf. seinen Werth zum Theil stark überschätzen, wenn er

[1]) Vergl. die Versuche des Referenten. Diese Zeitschrift. Bd. I. 1878. S. 263.

sagt: «Die Tafeln ermöglichen es, die Größe der verschiedenen örtlichen und zeitlichen Schwankungen bis auf einzelne Winkelgrade, beziehungsweise Jahrestage genau anzugeben, während mit Hülfe der Tabelle der Monatsmittel die genannten Schwankungen nur bis auf den achten, bezw. zwölften Theil der Kreisperipherie genau erkannt werden können».

Das wäre nur unter der Voraussetzung möglich, daß die Kurven in der That die wirklichen Verhältnisse darstellen. Nun sind sie aber nach den Monatsmitteln gezogen, d. h. zu einem sehr großen Theil interpolirt. Nur dort, wo der Sinn der Krümmung sich nicht ändert, giebt eine graphische Interpolation sichere Werthe; bei Wendepunkten ist sie dagegen unsicher. Und diese Unsicherheit läßt sich auch dadurch nicht ganz beseitigen, daß jede Kurve durch die Nachbarkurven kontrollirt wird. Die Bestimmung der Eintrittszeit der zeitlichen Epochen auf 1 Tag genau und der Lage der örtlichen Maxima beziehungsweise Minima der Temperatur nach der Himmelsrichtung auf 1° genau scheint dem Referenten *(E. Brückner)* daher ein kühnes Unterfangen, wenn man dabei nur Beobachtungen, die einmal monatlich «um die Mitte des Monats» angestellt wurden, und Expositionen, die wohl schwerlich auf mehr als 5° genau orientirt sind, verwenden muß.

Diese Bedenken, in Bezug auf die vom Autor angenommene Genauigkeit der absoluten Werthe, dürfen uns natürlich nicht abhalten, hier einen Bericht über die Resultate des Verf. zu geben, weil an der Richtigkeit des Sinnes dieser Resultate kein Zweifel aufkommen kann. Das geht schon daraus hervor, daß die Beobachtungen im Innthal und im Gschnitzthal ganz analoge Ergebnisse lieferten.

Wir geben zunächst in einer Tabelle einen Auszug aus dem Zahlenmaterial des Verfassers.

Mittlere Bodentemperatur in 80 cm Tiefe.

Exposition.	Winter.	Frühling.	Sommer.	Herbst.	Jahr.	Amplitude.
			Innthal.			
N	4,2	7,2	15,3	11,2	9,5	12,5
NO	4,4	8,3	17,0	12,6	10,6	14,3
O	4,0	9,3	18,6	13,1	11,3	16,1
SO	5,1	10,8	**19,7**	14,6	12,6	**16,2**
S	5,3	10,7	19,3	**15,2**	12,6	15,6
SW	**6,6**	**11,0**	18,3	15,0	**12,7**	13,3
W	5,5	10,5	18,5	14,2	12,2	14,8
NW	4,5	7,8	16,0	12,3	10,2	13,2
Mittel	5,0	9,5	17,8	13,5	11,5	14,3
Amplitude	2,6	3,8	4,4	4,0	3,2	—
			Gschnitzthal.			
N	0,6	2,5	11,2	6,0	5,1	13,0
NO	0,9	3,2	11,6	6,3	5,5	12,8
O	0,4	4,0	12,6	6,7	5,9	13,8

Exposition.	Winter.	Frühling.	Sommer.	Herbst.	Jahr.	Amplitude.
			Gschnitzthal.			
SO	1,5	**6,7**	13,4	8,4	7,5	**13,8**
S	2,4	6,4	**13,4**	9,1	7,8	13,3
SW	**3,1**	6,0	12,9	**9,1**	**7,8**	11,9
W	2,6	5,6	12,6	8,8	7,4	12,0
NW	2,0	4,2	11,9	8,0	6,5	12,1
Mittel	1,7	4,8	12,5	7,8	6,7	12,8
Amplitude	2,7	4,2	2,2	3,1	2,7	—

Die höchste Temperatur hat vom Mai bis zum Spätsommer der Boden mit SO-Exposition, im Winter dagegen derjenige mit SW-Exposition. Daß im Sommer die SO-Exposition das Maximum besitzt, erklärt sich aus der täglichen Periode der Bewölkung, die Vormittags, wenn die Sonne im Südosten steht, erheblich kleiner ist als Nachmittags. Warum dagegen im Winter die SW-Hänge besonders begünstigt sind, läßt sich schwer sagen. Die tägliche Periode der relativen Feuchtigkeit der Luft, die Verf. zur Erklärung herbeizieht, dürfte damit wohl schwerlich zusammenhängen, da nicht die relative, sondern die absolute Feuchtigkeit bei Südweststand der Sonne, d. h. Nachmittags am größten ist. Am kältesten ist im Januar und Dezember der Osthang, in den übrigen Monaten der Nordhang.

Die Temperaturdifferenz zwischen der kältesten und der wärmsten Abdachung ist einer periodischen Aenderung unterworfen. Im Winter ist sie klein (Mitte Januar ca. 2½°), im Frühling größer (um den 1. Mai 5—5½°), im Sommer wieder kleiner (im Juni im Innthal 4½°, im Gschnitzthal 2½°), im Herbst abermals groß (Mitte September 5½°, bezw. 4°). Im Frühling und im Herbst ist nämlich der Gegensatz in der Besonnung[1]) der Nord- und Südabdachung (bei einem Neigungswinkel von rund 36°) besonders groß, zur Zeit des tiefen und zur Zeit des hohen Sonnenstandes wird er kleiner. Das zeigen folgende Zahlen (Prozente der Bestrahlung bei senkrechtem Auffallen der Strahlen):

Bestrahlung.

Sonnenhöhe.	Südexposition.	Nordexposition.	Differenz.
19° 27'	58,6	0,0	58,6
42° 55'	73,3	0,8	72,5
54° 39'	75,0	12,4	62,6
60° 23'	72,4	28,0	44,6.

Daher entsteht die doppelte jährliche Periode der Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Expositionen.

Nicht zur gleichen Zeit erreichen alle Expositionen ihre höchste oder ihre tiefste Temperatur. Das Maximum fällt bei der Nordexposition entschieden früher (Mitte August) als bei der SW-Exposition (Ende August bis Mitte September). Die SO-Exposition erreicht ihr Minimum im Januar oder Anfang Februar, die

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. VII. 1884. S. 100—118.

N- und NW-Exposition erst Anfang März. Hierbei spielt offenbar die von der Nordabdachung erst später verschwindende Schneedecke eine wichtige Rolle. Denn überall bringt das in den Boden eindringende Schmelzwasser derselben das Minimum der Temperatur.

Die Form der Jahreskurve der Temperatur ist bei verschiedenen Expositionen eine ganz verschiedene. Die Kurve der Nordexposition ist im Winter ganz flach, im Sommer relativ spitz, die Kurve der Südexposition dagegen im Winter relativ spitz und im Sommer flach.

Die Amplitude der Schwankung ist bei der SO-Exposition am größten (16,2° bezw. 13,8°); denn die SO-Exposition schließt sich in Bezug auf ihre Temperaturverhältnisse im Winter an die nördliche, im Sommer an die südliche Exposition an. An der SW-Seite sinkt dagegen die Temperatur im Winter am wenigsten tief und steigt im Sommer nicht so hoch wie im SO; daher ist hier die Temperaturamplitude am kleinsten (13,3° bezw. 11,9°).

Zum Schluß führt der Verf. noch die Koordinaten der tiefsten und höchsten Punkte seiner Temperaturfläche auf. Die höchste Temperatur wird erreicht:

	Exposition.	Datum.	Temperatur.
Innthal	O 67° S	4. IX.	20,8°
Gschnitzthal	O 76° S	25. VIII.	15,0°.

Die tiefste Temperatur wird erreicht:

Innthal	N 7° O	5. III.	3,3°
Gschnitzthal	N 13° O	23. II.	—0,8°.

Die Differenzen dieser Extreme sind 17,5 und 15,8° C.

***H. Becquerel.* Ueber die Bodentemperaturen im naturhistorischen Museum während des Winters 1890/91.** Comptes rendus. 1891. T. CXIII. p. 485. — Naturw. Rundschau. 1891. No. 51. S. 663.

Verf. hat die von seinem Großvater eingerichteten und begonnenen Messungen der Bodentemperatur im naturhistorischen Museum zu Paris[1]), welche bis zum Jahre 1885 jährlich veröffentlicht worden sind, weiter geführt und will dieselben demnächst publiziren. Im Voraus theilt er jedoch einige Resultate mit, welche sich während des verflossenen Winters ergeben haben, da eine mehrere Monate hinter einander gleichmäßig anhaltende Witterung dem Studium der Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens sehr günstig gewesen ist. Auf dieser Station zur Messung der Erdtemperatur liegen bekanntlich thermoelektrische Kabel, welche genaue Wärmemessungen in Tiefen von einigen Centimetern bis zu 36 m unter der Oberfläche ermöglichen; ein Kabel liegt in einem Erdreich; das eine mit Sand bedeckt und kahl, das andere in gleichem Boden, der mit Rasen bepflanzt ist. Die hier besprochenen Beobachtungen erstrecken sich vom 1. November 1890 bis zum 31. März 1891. Die Temperaturen wurden täglich um 6h. a. m. und 3h. p. m. abgelesen und graphisch in ein Koordinatennetz eingezeichnet.

[1]) Vergl. diese Zeitschrift. Bd. II. 1879. S. 55 u. 163.

An den so gewonnenen Kurven fällt zunächst eine große, vom 15. November bis zum 15. März reichende Temperaturschwankung auf, welche man in allen Tiefen, wenn auch mit abnehmender Amplitude und einer fortschreitenden Verzögerung, erkennt; für die tiefste Stelle erreicht die Verspätung 7 bis 8 Tage. Das Intervall zwischen dem ersten Maximum und dem Minimum der Temperaturkurve war im Mittel 52 Tage. Ueber diese Hauptoszillation lagern sich Temperaturschwankungen, deren Perioden zwischen 6 und 20 Tagen liegen; auch diese Schwankungen sind mit abnehmender Amplitude in allen Tiefen erkennbar. Unter der nackten Oberfläche ist die Kurve für die Tiefe 0,18 m eine treue Wiedergabe (in reduzirtem Maßstabe) der Kurve der mittleren Lufttemperaturen; ihre Schwankungen werden nach der Tiefe schwächer und sind in 73 cm verschwunden. Unter dem Rasen verschwinden diese kurzen Oszillationen mit der Tiefe schneller und die stärksten sind kaum noch in 30 cm bemerkbar. Aus diesem Charakter der Kurven kann man folgern, daß der Rasen an der Oberfläche in seiner Wirkung auf die Bodentemperatur einer Erdschicht von etwa 50 cm gleichkommt.

Die Tagesschwankung der Temperatur, welche zuweilen in der Luft 14° erreicht hat, ist in allen Tiefen bis 73 cm merklich und markirt sich durch eine Schwankung von einigen Zehntel Grad. In allen Tiefen außer bis 18 cm unter dem nackten Boden ist die Tagesschwankung umgekekrt; d. h. die Temperatur sinkt von 6 h. Morgens bis 3 h. Nachmittags und steigt während der Nacht. Jede Temperaturschwankung pflanzt sich unabhängig von der anderen mit einer eigenen Geschwindigkeit fort.

Der Frost drang im Allgemeinen im kahlen Boden bis über 73 cm vor, unter dem Rasen nur bis 30 cm; und zwar brauchte er in dem kahlen Boden 2½ Tage, um 18 cm Tiefe zu erreichen, 3½ Tage bis 23 cm, und für die größeren Tiefen war die Verzögerung mehr oder weniger groß; jede Tiefe hatte ihre besondere Verzögerung. Unter dem Rasen drang der Frost erst bis 5 cm, nachdem eine mittlere Lufttemperatur von −4° bis −5° 19 Tage lang angehalten hatte, und erst nachdem sie 30 Tage angehalten hatte, war die Temperatur hier unter 0° gesunken. Nach weiteren 3 Tagen drangen dieselben Schwankungen bis 10 cm; auch hier war das Vordringen des Frostes kein gleichmäßiges, sondern für jede Periode ein verschiedenes. Am 31. Januar 1891 findet man, mit Ausnahme der Schicht von 60 cm unter dem Rasen, überall die Temperatur Null. Von diesem Moment an während des ganzen Februar wiesen die Schichten von 18 bis 73 cm unter dem nackten Boden von 5 bis 30 cm unter dem Rasen gleichmäßig die Temperatur Null auf; eine während dieser Zeit eintretende ganz beträchtliche Schwankung der Lufttemperatur war im Boden ganz unmerklich. Dann trat Erwärmung auf und zwar in den tiefsten Schichten beginnend, während in den oberen Schichten die Temperatur ziemlich stationär blieb.

Ein eingehenderes Studium der während dieses Winters beobachteten Bodentemperaturen zeigte eine interessante Bestätigung der *Fourier*'schen Theorie von der Fortpflanzung der Wärme im Boden. Es war in Folge dessen möglich, aus den Beobachtungen sowohl die Längen der Wärmewellen für die vorliegenden Versuchsverhältnisse als auch die Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens in dem bezüglichen Zustande der Feuchtigkeit und Dichte, in dem die Beobachtungen

gemacht sind, zu berechnen. Für die Längen der Wärmewellen ergaben sich Werthe, welche zwischen 1,867 m (im Januar, als der Boden mit Schnee bedeckt war) und 8,632 m (im November, Januar und vom Februar bis März bei Thauwetter) schwankten. Die Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens wurde gleich 0,0040 gefunden.

Ch. André und ***J. Raulin.*** **Ueber den Einfluß der Beschaffenheit des Erdreiches auf die Bodentemperatur.** Compt. rend. Vol. CXII. pag. 256—258.

Diese Untersuchungen wurden in der landwirthschaftlichen Station der Rhone vom 31. März 1888 bis Juni 1890 angestellt.

Von einer 5 Ar großen Fläche des Versuchsfeldes wurde der Boden bis zu einer Tiefe von 0,90 m entfernt und die erhaltene Fläche in 5 Quadrate von je 1 Ar getheilt. Von diesen Quadraten wurde je eins mit Torf, Thon, Sand und Kalkerde gefüllt und das fünfte Quadrat mit einer Mischung zu gleichen Theilen von diesen 4 Erdarten. Diese letzteren waren wie folgt zusammengesetzt:

	Torf.	Thon.	Sand.	Kalkerde.
Humus	67,3	0,0	0,0	0,0
Thon	0,0	25,4	4,5	0,0
Kalkerde	20,1	0,0	20,7	61,4
Sand	12,6	74,4	74,8	38,6.

In die Mitte eines jeden Quadrates wurden zwei in $^1/_{10}$ Grad getheilte Thermometer (nach *Tonnelot*) eingesetzt, das eine bis zur Tiefe von 30, das andere bis zur Tiefe von 50 cm. Die Thermometer waren durch Drahtnetze geschützt. Die angestellten Beobachtungen ergaben folgende Resultate:

1. Im Torf hat man bei Tage die Minimaltemperatur gegen 4 Uhr Abends und die Maximaltemperatur gegen 4 Uhr Morgens gefunden. In den anderen Erdarten wurden Minimal- und Maximaltemperatur mit geringen Abweichungen gegen 9 Uhr Morgens und 8 Uhr Abends beobachtet. Dem Torf am nächsten stand die Kalkerde, dann kam der Thon und zuletzt der Sand. Da die Fähigkeit Temperaturschwankungen zu übertragen hauptsächlich von dem Wärmeleitungsvermögen abhängt, so kann man schließen, daß das letztere mit Bezug auf die 4 Erdarten sich in folgender absteigender Reihe zeigt: Sand, Thon Kalkerde, Torf und zwar mit großem Unterschiede des Torfes gegen die anderen drei Erdarten.

2. Im Januar und Juli, wenn die durchschnittliche Tagestemperatur fast stationär ist, war die Temperatur des Torfes höher als die der anderen Erdarten. Dann kamen in Abständen Sand, Thon und Kalkerde. Daraus läßt sich schließen, daß das Absorptionsvermögen folgende absteigende Reihe innehält: Torf, Sand, Thon, Kalkerde.

3. Der Durchschnitt der Temperaturschwankungen bei Tage in den verschiedenen Erdarten ist in ihrem Bezuge zu den Schwankungen der Luft für den Torf sehr gering und größer bei den anderen Erdarten. Bei einer durchschnittlichen Schwankung der Luft von 9,4° ergiebt sich im Torf eine Schwankung von circa 0,3° und in den anderen Erdarten von circa 3,0°. Diese letzteren zeigen

unter sich geringe Unterschiede. Der Umfang in den Tagestemperaturschwankungen verfolgt daher diese absteigende Reihenfolge: Sand, Thon, Kalkerde Torf, und da diese Reihenfolge mit derjenigen des Wärmeleitungsvermögens übereinstimmt, so schließt man, daß unter gleichen Bedingungen der Umfang der Tagestemperaturschwankungen vom Wärmeleitungsvermögen abhängt.

4. Für die Agrikultur sind diese Untersuchungen nicht ohne Bedeutung. Denn angenommen, daß zur Durchbildung einer gegebenen Phase in der Vegetation eine gewisse Summe von Wärmegraden erforderlich ist, so ist es auch wichtig zu wissen, wie die Grundbedingungen für diese Summe lauten.

Die gemachten Untersuchungen zeigen den Unterschied zwischen Torf und allen anderen Erdarten und beweisen ferner, daß im Torf während der kalten Jahreszeit die Temperatur weniger tief herabsinkt und daher günstig für die Vegetation ist. Thatsächlich erfreuen sich Mais und Runkelrübe in Torferde einer frühzeitigeren Entwickelung. *R. W.*

W. Hallock. **Temperaturen in Bohrlöchern.** Naturw. Rundschau 1890. No. 2. S. 28.

In der geologischen Sektion der American Association for the Advancement of Science, welche im August 1891 zu Washington tagte, gab *W. Hallock* einen vorläufigen Bericht über die Temperaturmessungen, welche in dem 4500 Fuß tiefen Brunnen zu Wheeling W. Va. ausgeführt worden sind. Vor den Bohrlöchern zu Sperenberg und Schladebach (Naturw. Rundsch. III, 284; IV, 99; V, 20) hat das amerikanische den großen Vorzug, daß es trocken ist und somit die durch das Wasser veranlaßten Störungen keine besonderen experimentellen Schwierigkeiten für die Messung der Temperatur der einzelnen Schichten darbieten. Nur bis zur Tiefe von 1570 Fuß ist der Brunnen ausgekleidet.

Ueber die Ergebnisse der Messungen entnehmen wir der «Nature» einige Daten. Die Temperatur betrug in 1350 Fuß 68,75° F. (20,4° C.) und stieg bis auf 110,15° F. (43,4° C.) in 4462 Fuß Tiefe; sie zeigte in der oberen Hälfte des nicht eingefaßten Theiles eine langsame Zunahme mit der Tiefe, 1° F. auf 80 bis 90 Fuß, während sie im unteren Theile ein schnelleres Wachsen erkennen ließ, 1° F. auf 60 Fuß. *Hallock* vermuthet jedoch, daß die schnellere Temperaturzunahme in der Nähe des Grundes eine temporäre war. Eine Vergleichung der drei tiefsten Bohrlöcher, aus denen Temperaturmessungen vorliegen, ergab folgendes Temperaturgefälle:

	Fuß für 1° F.	Gesammttiefe.	Temperatur oben.	Temperatur am Boden.
Sperenberg	59,2	4170	47,8° F.	118,6° F.
Wheeling	74,9	4500	51,3° »	110,3° »
Schladebach	65,0	5740	51,9° »	135,5° ».

Hallock giebt der Hoffnung Ausdruck, daß das Bohren, wenn es auch momentan eingestellt ist, doch noch bis zur Tiefe von 5500 oder 6000 Fuß fortgesetzt werden wird.

F. H. King. **Die Wirkung des Walzens auf den Ackerboden.** Report of the agricultural Experiment-Station of the University of Wisconsin for the year ending June 30. 1890. p. 120—133. — *Biedermann's* Zentralblatt für Agrikulturchemie. 1891. Heft X. S. 653—654.

Beobachtungen, die im Jahr 1889 an der Versuchsstation, sowie an anderen Orten des Staates Wisconsin angestellt wurden und die Wirkung des Walzens auf die Temperatur des Bodens, die Verdunstung, das Keimen der Saat von Hafer, Klee, Erbsen, Gerste und Gras, ferner den Ertrag des gewalzten Bodens an Hafer betrafen, führten zu folgenden Schlüssen: Walzen macht den Boden 38 mm unter der Oberfläche um 1° bis 9° F. wärmer, als ähnlicher ungewalzter Boden derselben Oertlichkeit ist, und in einer Tiefe von 75 mm um 1—6° F. wärmer[1]). Das Festwalzen des Bodens vermehrt seine Fähigkeit, Wasser von unten an die Oberfläche zu befördern[2]), und diese Wirkung erstreckt sich, wie beobachtet worden ist, bis zu einer Tiefe von 0,9 bis 1,2 m. Die Verdunstung geht daher schneller auf gewalztem Boden vor sich als auf nicht gewalztem[3]), wenn nicht die Oberflächenschicht sehr naß ist, in welchem Falle dann das Gegentheil statt hat. Die trocknende Wirkung des Walzens erstreckte sich bis zu 1,2 m Tiefe.

Wird breitwürfig gesäet, so geht die Keimung schneller und vollständiger auf gewalztem Boden als auf nicht gewalztem vor sich. In der Vollständigkeit der Keimung wurden folgende Unterschiede bemerkt: für Hafer 4,2, 41,0 und 11,35 %, für Erbsen 35,7 %, für Gerste 10,3 und für Klee 1,2 % und 68,7 % mehr aufgegangene Saat auf gewalztem als auf nicht gewalztem Boden. Ist das Wetter trocken, so fallen solche Unterschiede am größten aus, am geringsten, wenn reichlicher Regen fällt.

An Hafer wurden auf gewalztem Boden 55 hl von 1 ha geerntet und 53 hl auf ungewalztem Boden; auf letzterem waren kleinere Körner gewachsen als auf ersterem. Der Hafer von gewalztem Boden wog 35 kg pro hl, derjenige von ungewalztem Boden 32 kg pro 1 hl. Als er geschnitten wurde, enthielt der Hafer der gewalzten Felder 11,6 % Feuchtigkeit, derjenige der nicht gewalzten Felder 11,31 %. Diese Beobachtungen über die Wirkung des Walzens auf den Ertrag und die Güte des Hafers stellen einen einzelnen Fall dar und sollen behufs Verallgemeinerung der Schlüsse wiederholt werden.

P. Kostytscheff. **Untersuchungen über die Bildung und Eigenschaften des Humus.** Annales agronomiques. T. XVII. 1891. p. 17—38.

I.

Die Untersuchung der Bedingungen, an welche die Zersetzung der vegetabilischen organischen Substanzen geknüpft ist, ist das wichtigste Verfahren, welches man gegenwärtig kennt, um die Anhäufung der organischen Stoffe im Boden zu erklären. Eine solche Studie kann uns einen sehr werthvollen Aufschluß über

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. II. 1879. S. 133.
[2]) Diese Zeitschrift. Bd. V. 1882. S. 2 und Bd. VII. 1884. S. 289.
[3]) Diese Zeitschrift. Bd. VII. 1884. S. 68.

die Eigenschaften des Humus liefern, welcher nicht nur ein Produkt der Zersetzung organischer Reste ist.

In meinem Buch: Die Böden der Gegend des Tschernozem (Schwarzerde) Rußlands habe ich die Schnelligkeit der Zersetzung verschiedener organischer Reste unter verschiedenen Bedingungen untersucht, und habe ich, unter Anderem, gezeigt, daß die humosen Stoffe eine dunkle Farbe besitzen, in dem Fall, wo die Fäulniß unter dem Einfluß von Pilzen stattfindet. Unter dem ausschließlichen Einfluß von Bakterien bilden sich keine schwarzen Substanzen.

Den Ursprung des Humus suchend, ist die Aufmerksamkeit des Experimentators unwillkürlich auf die großen Stickstoffmengen hingelenkt, welche die Humusstoffe enthalten.

Nach den Analysen des Prof. *Schmidt* enthält die Schwarzerde 4,00—6,65 % Stickstoff. Analysirt man die Pflanzen, welche noch nicht begonnen haben, sich zu zersetzen, so findet man im Prairienheu, Rothklee, in Stipa im trockenen Zustande 0,77—2,00 %. Selbst in den stickstoffreichsten Pflanzen, den Papilionaceen, ist die Stickstoffmenge viel geringer als in den humosen Stoffen. Es ist augenscheinlich, daß der Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff bei der Zersetzung der abgestorbenen Pflanzen schneller verschwinden als der Stickstoff und daß in Folge dessen die restirende Masse nach und nach reicher an Stickstoff wird.

Schon seit langer Zeit ist man auf die Stickstoff-Anreicherung der sich zersetzenden Substanzen aufmerksam geworden, aber bis zur Gegenwart ist es schwer gewesen, die Ursache hiervon aufzuklären. «Ich habe, sagt *Mayer*, die Wurzelrückstände und die lebenden Theile von Cornus der Moorwiesen und unter Anderem ihren Humus untersucht; ich habe gefunden auf 100 Theile der organischen Substanz der Pflanzenreste 1,3 und in dem Humus 4,7 Theile Stickstoff.»

Mit einem Wort: die Substanzen vegetabilischen Ursprungs zersetzen sich ganz anders als die animalischen. Die stickstoffhaltigen Bestandtheile der Pflanzen zersetzen sich unter den im Boden herrschenden Bedingungen ungleich weniger schnell als die nicht stickstoffhaltigen Theile, woraus folgt, daß sich bei der Zersetzung der vegetabilischen Proteïnsubstanzen Verbindungen bilden, welche sich äußerst langsam zersetzen.

Um die Veränderung der stickstoffhaltigen Bestandtheile in den Pflanzenresten zu studiren, führte ich folgende Experimente aus. Steppenheu, aus Festuca ovina und Koeleria cristata bestehend, wurde bei 100—150° getrocknet und analysirt. Es enthielt 1,270 gr Stickstoff in 100 Theilen. Eine zweite Probe von 114,12 gr entsprechend 100 gr trockenem Heu wurde mit 75 ccm Wasser befeuchtet und in eine Glasschale verbracht, welche, um den Zutritt von Staub aus der Luft abzuhalten, mit einer hermetisch schließenden Glasglocke bedeckt wurde. In letztere wurde täglich Luft eingeleitet, welche durch Schwefelsäure und Wasser gegangen war. Nach 6 Monaten wurde die Masse untersucht, wobei sich herausstellte, daß von 100 gr trockenem Material nur noch 62,25 vorhanden waren. Diese enthielt 1,2711 gr Stickstoff. Es hatte mithin kein Verlust an letzterem stattgefunden.

Weitere Versuche wurden mit abgefallenen Baumblättern verschiedenen Ursprungs angestellt und zwar einerseits im Wesentlichen nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren, andererseits in der Weise, daß man die Glasschalen

nicht mit einer Glocke, sondern nur mit Papier bedeckte, um den Zutritt des atmosphärischen Staubes zu ermöglichen. Da die Materialien unter solchen Umständen viel Wasser verloren, so wurden sie öfter angefeuchtet. Sowohl vor als nach der Zersetzung wurde der Gesammtstickstoff, sowie die Menge des Ammoniaks und der Salpetersäure bestimmt. In folgender Tabelle sind die Resultate übersichtlich zusammengestellt:

Substanz bei 100—150° getrocknet. Temperatur 17,20°.

Ursprung der Blätter.	Versuchs-dauer.	Versuchs-bedingungen.	Gewicht der trockenen Substanz vor der Zersetzung. gr	Gewicht der trockenen Substanz nach der Zersetzung. gr	Verlust der trockenen Substanz. gr	Stickstoff vor der Zersetzung. gr	Stickstoff nach der Zersetzung. gr
Eiche	4 Monate	Unter der Glocke	53,74	39,94	13,80	0,8867	0,8839
»	8 Monate	»	59,70	38,50	21,20	0,9851	0,9895
»	»	In freier Luft	48,80	26,40	18,40	0,7392	0,7839
»	»	Unter der Glocke	100,00	55,75	44,25	1,4200	1,4495
»	»	In freier Luft	»	51,00	49,00	1,4200	1,3719
»	12 Monate	Unter der Glocke	»	47,90	51,10	1,4200	1,4274
»	»	In freier Luft	»	45,00	55,00	1,4200	1,3950
Rüster	8 Monate	Unter der Glocke	»	58,32	41,68	1,2450	1,2513
»	12 Monate	»	»	50,50	49,50	1,2450	1,2373
»	»	In freier Luft	»	46,40	53,60	1,2450	1,2528
Akazie	8 Monate	Unter der Glocke	»	53,36	46,64	2,0500	1,9751
»	»	In freier Luft	»	58,00	42,00	2,0500	1,9836
»	12 Monate	Unter der Glocke	»	48,12	51,88	2,0500	2,0457
»	»	In freier Luft	»	51,00	49,00	2,0500	2,0451
Weißbuche	4 Monate	Unter der Glocke	»	73,00	27,00	1,8400	1,8542

Die Ammoniak- und Salpetersäuremengen waren sehr klein oder gleich Null. Alle Experimente zeigen, daß der Stickstoff bei der Zersetzung abgestorbener Pflanzentheile in freier Luft nicht gasförmig entweicht und daß sich unter solchen Verhältnissen keine Salpetersäure bildet.

Diese Resultate stimmen mit den Untersuchungen von *A. Ehrenberg*, *Kellner* und *Yoshii* überein. Die Verminderung von Stickstoff, welche man in einigen Fällen während der Zersetzung von Blättern beobachtet hat, erklärt sich aus einem Fehler in der Analyse; wenn man bei diesen Untersuchungen Stickstoffsäure findet, so hat wahrscheinlich Verlust an Stickstoff stattgehabt, denn wie *Kellner* und *Yoshii* gezeigt haben, erfolgt die Nitrifikation mit augenscheinlichem Verlust von Stickstoff. *A. Ehrenberg* hat das ebenfalls konstatirt.

Für alle Versuche, welche ich beschrieben habe, gilt Folgendes: Bei den in Zersetzung begriffenen Materialien haben sich jedenfalls niedere, dem bloßen Auge unsichtbare Thierchen gefunden, doch fehlten Insekten, deswegen konnten sich in den aus der Zersetzung resultirenden Produkten kein Chitin oder analoge Substanzen vorfinden, welche reich an Stickstoff und schwer zersetzbar sind. In

3*

allen diesen Fällen war Ammoniak nur in sehr kleinen Mengen vertreten und es ist möglich, daß selbst die gefundenen Mengen in den in Zersetzung begriffenen Materialien vorher gar nicht existirten. Man kann thatsächlich annehmen, daß das Ammoniak aus dem Angriff der organischen Substanzen durch die schwache bei den Analysen angewandte Salzsäure herrührte. Man könnte ferner vermuthen, daß die Zersetzung der aus Heu und Blättern erhaltenen stickstoffhaltigen Verbindungen während des Versuches noch nicht vollständig genug war, um Ammoniak zu liefern.

Immerhin aber ist diese Hypothese schwer zulässig, denn man weiß, daß die albuminoiden Substanzen sich gewöhnlich sehr leicht zersetzen und daß das zu den Versuchen verwendete Heu eine gewisse Menge derselben enthält.

Das Gewicht der trockenen Substanzen war um ein Drittel verringert; doch darf man aus dem Umstande, daß das zersetzte Heu kein Ammoniak enthielt, nicht schließen, daß die albuminoiden Stoffe des Heues und der Blätter keine Veränderung erlitten haben; wahrscheinlicher ist es, daß in den Zersetzungs-Produkten eine große Menge von organischen stickstoffhaltigen Verbindungen existirten von einfacherer Beschaffenheit als die Albuminoide, als da sind die Amide, die Alkaloide u. s. w.

So habe ich thatsächlich gefunden:

	Gesammt-Stickstoff.	Stickstoff der albuminoiden Stoffe.	Stickstoff der amidartigen Verbindungen.
	%	%	%
Steppen-Heu nach einer Zersetzung von 6 Monaten	2,042	1,893	0,149
Eichenlaub von der Verwaltung der Wälder von Berdiansk:			
Nach einer Zersetzung von 8 Monaten	2,60	2,38	0,22
» » » » 12 »	2,98	2,73	0,25.

Diese Zahlen zeigen, daß in den in Zersetzung begriffenen Stoffen die einfachen stickstoffhaltigen Verbindungen in kleiner Quantität vorhanden waren; überdies ersieht man aus den Versuchen mit Eichenlaub bei den verschiedenen Zeitabschnitten der Zersetzung, daß die Menge dieser Verbindungen in den in Zersetzung begriffenen Stoffen keiner Veränderung unterliegt.

Das Gleiche gilt vom Ammoniak; auch wenn dieses aus der Veränderung hervorgehen sollte, welche die organischen Verbindungen unter dem Einflusse der schwachen Salzsäure erleiden, so kann man immer sagen, daß die stickstoffhaltigen Substanzen der vegetabilischen Stoffe bei Zersetzung in freier Luft keine Veränderung erfahren.

Um nun aber tiefer in die Natur der stickstoffhaltigen Verbindungen, welche in verwesenden vegetabilischen Ueberresten existiren, einzudringen (ich glaube, daß man das Gleiche auch von verwesenden thierischen Stoffen sagen könnte), müssen wir für einen Augenblick die Chemie bei Seite lassen und die Botanik zu Hülfe rufen. Diese letztere zeigt uns, wie die sich zersetzenden Materien thatsächlich eine sehr große Menge von albuminoiden Stoffen enthalten.

Sobald vegetabilische Ueberreste sich zu zersetzen beginnen, erscheint auf denselben eine Menge von Bakterien und Pilzen. Wenn die Bakterien und Pilze die albuminoiden Stoffe zersetzen und Ammoniak-, sowie Amidverbindungen daraus bilden, so können doch diese nicht lange unter den Bedingungen, in welchen sie entstehen, existiren, denn sie dienen wieder selbst den Bakterien und Pilzen zur Nahrung. Sie verwandeln sich von Neuem in deren Zellen in albuminoide Protoplasma-Stoffe. Folglich ist bei einer Zersetzung unter Beisein von niedern Organismen die Zerstörung der albuminoiden Stoffe sogleich gefolgt von der Wiederentstehung derselben auf synthetischem Wege.

Viele Pilze und die meisten Bakterien können sehr gut in Lösungen wie auch in festen Substanzen bestehen, welche keine albuminoiden Stoffe, sondern nur ammoniakalische Salze enthalten oder amide Zusammensetzungen. In diesen Fällen bilden sich albuminoide Stoffe, deren Menge sich immer mehr und mehr vergrößert.

Die amidartigen Stoffe und die Ammoniaksalze, welche sich von dem festen Material (z. B. vegetabilische Ueberreste) abspalten, repräsentiren stickstoffhaltige Stoffe, welche den Bakterien und Pilzen zur Nahrung dienen können.

Wenn die Feuchtigkeit der sich zersetzenden Materie ausreichend ist, so können diese Verbindungen sich Dank der Diffusion ausbreiten, wie es bei löslichen Stoffen und Kristalloiden der Fall sein würde. Die albuminoiden Stoffe sind im Gegentheil schwer fortbeweglich und, eingeschlossen in die Zellen der vegetabilischen sich zersetzenden Ueberreste, sind sie wenig zugänglich und schwer nutzbar zu machen.

Bei einer aufmerksamen Untersuchung der sich zersetzenden vegetabilischen Ueberreste findet man leicht, daß die Synthese oder die Rekonstitution der albuminoiden Stoffe (ihre Umwandelung in aktives Protoplasma) erfolgt, weil die Menge der Organismen, welche sich auf einer in Zersetzung begriffenen Materie bilden, sehr groß ist. Es ist sogar unmöglich, ein Theilchen der sich zersetzenden Materie zu untersuchen, ohne eine große Menge von Bakterien und Mycelien zu finden. Mitunter verwandeln sich die vegetabilischen Ueberreste, unter Beibehaltung ihres Aussehens, in ein wahres Pilzgeflecht, wie ich dies bei meinen Versuchen mit verwesendem Eichenlaub zu beobachten Gelegenheit hatte und zwar in jener Epoche, wo das Gewicht der ursprünglichen Materie sich wenigstens um 40 % verringerte. Die Blattstiele hatten zu jener Zeit ihre Form nicht verändert, doch bildeten sie den Boden von einer Vegetation acirculariformer Fäden. Diese Fasern, von den untersten Blattschichten ausgehend, kletterten und rankten sich durch alle darüberliegenden Blattschichten hindurch bis an die Oberfläche, wo sie an ihren Enden die charakteristischen Sporen einer Varietät von Peziza bildeten. Es ist klar, daß in diesem Falle die Blattstiele als Sklerotium dienten, was mit Hülfe einer mikroskopischen Analyse leicht zu konstatiren war. Bei der Analyse dieser Sklerotiumstiele konnte man leicht mehr Stickstoff finden als in den noch nicht veränderten Blattstielen gleich nach dem Abfall der Blätter. In diesem Falle ist der Stickstoff augenscheinlich in dem Protoplasma der Peziza zum größten Theile unter der Form albuminoider Materien enthalten.

Man kann die Vegetation dieser Kryptogamen nicht allein in den sich zersetzenden vegetabilischen Ueberresten beobachten, sondern im Boden selbst; das

ist auch leicht begreiflich, denn die organischen Bodenbestandtheile sind ja nichts anderes als eben diese vegetabilischen Ueberreste. Setzt man Schwarzerde während einer gewissen Zeit der Feuchtigkeit aus, indem man sie von Zeit zu Zeit mit Wasser begießt und dasselbe in die untersten Schichten eindringen läßt, auch die Luft darin erneuert, so sieht man mit bloßem Auge eine reiche Vegetation Pilze aller Art zum Vorschein kommen. Man beobachtet eine große Quantität Schimmelfäden und mitunter an einzelnen Stellen Pflanzenschleim, farbige Mengen, also jedenfalls Myxomyceten, was auf die Bildung von Sporangien in der Austrocknung des Bodens schließen läßt (übrigens habe ich die Erscheinung dieser Sporangien nicht konstatirt).

Wenn der Boden, unter diesen Bedingungen, austrocknete, so könnte man darin albuminoide Stoffe finden, welche das Protoplasma der Pilze und Bakterien bilden. Richtet man seine Aufmerksamkeit darauf, daß unter günstigen Bedingungen für die Vermehrung der Mikroorganismen in einem Gramm Boden mitunter mehr als 60 Millionen derselben enthalten sind, so wird man begreifen, daß die Menge der albuminoiden Materien im Humus sehr bedeutend sein muß. Jedoch ist keines der existirenden Beobachtungsmittel im Stande, die genaue Total-Ziffer der Mikroorganismen des Bodens anzugeben.

Wir haben gesehen, daß der Stickstoff der organischen Stoffe in vielen Fällen in seiner Gesammtheit in der festen halb zersetzten Masse verbleibt, wo er der niederen Pflanzen- und Thierwelt zur Nahrung dienen kann, um solcherweise sich im großen Ganzen in albuminoide Stoffe umzuwandeln. Diese Verwandelungen gehen von Statten je nach den mehr oder minder günstigen Bedingungen für die Entwickelung der niederen Organismen. Ist die Materie feucht, so sind die Bedingungen für die Vervielfältigung günstig. Geht die Zersetzung in freier Luft vor sich, so ereignet sich ungefähr dasselbe, was *Nägeli* [1]) in folgendem Beispiel sagt: «Läßt man frischen Traubensaft, gekochten Saft oder den Saft anderer Früchte in freier Luft stehen, derart, daß die Pilzembryonen in denselben eindringen können, so ergiebt sich eine Vermehrung der Hefen, und der Saft verwandelt sich in Wein. Sobald dies geschieht, hat die Vermehrung der Weinhefezellen ein Ende und andere Kryptogamen fangen an, sich zu entwickeln, welche bis dahin unfähig zur Vermehrung waren. Auf der Oberfläche erscheint ein vielfach gefältelter Schleier, welcher den Alkohol oxydirt, wodurch Essigsäure erzeugt wird. Hat der Wein diese Umwandelung in Weinessig erfahren, so kommen andere Schimmelarten zum Vorschein. Sie nehmen den Platz dieses Mikoderms ein, verbrauchen die Säure und neutralisiren die Flüssigkeit. In dieser zeigen sich alsbald Bakterien, welche die Flüssigkeit ganz durchdringen, und die Zersetzung (Fäulniß) beginnt. In diesem Falle beobachtet man 4 aufeinanderfolgende Entwickelungsperioden der Pilze». Die Eigenschaften der ernährenden Materie (und zugleich der sich zersetzenden Materie) haben sich mehrere Male verändert, und dennoch fahren Bakterien und Pilze fort, sich zu entwickeln.

Man findet dasselbe in der Zersetzung vegetabilischer Ueberreste beim Vorhandensein von Sauerstoff; bald beobachtet man eine Säurereaktion in der sich

[1]) *C. von Nägeli*, Die niederen Pilze. München. 1877. S 32.

zersetzenden Materie, verursacht durch eine starke Entwickelung der Bakterien; bald eine neutrale Reaktion während der Entwickelung der Schimmelpilze und schließlich eine vollständige Entwickelung von Pilzen und Bakterien zusammen. In jedem Zustand der sich zersetzenden Materie kann man eine Menge von Organismen finden, deren Lebensfähigkeit in der gegebenen Substanz sich nach dem Fortschritt der Verwesung richtet. Diese letztere schreitet unaufhaltbar vorwärts und um so energischer, je günstiger Temperatur und Feuchtigkeit sind. In diesem Falle wird nur Kohlenstoff im Zustande von Kohlensäure frei, aller Stickstoff verbleibt und die stickstoffhaltigen Stoffe unterliegen demselben Cyklus von Veränderungen, welchen wir bei der Zersetzung und Wiederbildung der albuminoiden Substanzen haben.

Das Vorhandensein einer großen Stickstoffmenge im Zustande von Protoplasma im Boden ist der Gegenstand von Studien gewesen, welche man in den letzten Zeiten mit großer Aufmerksamkeit verfolgt hat.

So hat z. B. *Müller* auf die enorme Menge von Thieren in verschiedenen Materialien hingewiesen, sowie darauf, daß dieselben zugleich mit den Pilzen die Zersetzung der organischen Stoffe begünstigen; er schließt mit folgender Bemerkung: «Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Thiere den größten Theil der stickstoffhaltigen Verbindungen enthalten, welche im Torfe existiren und wenn man die ungeheure Entwickelung dieser Thierwelt bedenkt, so möchte man zweifeln, daß die chemische Analyse ausreichend sei, um die Eigenschaften der obersten Bodenschicht, aus welcher die Pflanzen ihre Nahrung schöpfen, zu erklären».

Beobachten wir die Vorgänge, unter welchen sich die Zersetzung von vegetabilischen Ueberresten vollzieht und ihre Umwandelung in Humus, so pflegen wir dem Gedanken Raum zu geben, daß wir mit der Zeit einen sich immer mehr und mehr verändernden Humus erhalten, der schließlich zu Torf wird.

Die von mir soeben angeführten Thatsachen zeigen indessen, daß diese Anschauung nicht immer richtig ist: Wenn die organischen Substanzen sich unter dem Einfluß der Luft zersetzen, so müssen sich immer von Neuem niedere Thiere und Pflanzen entwickeln, und es erfolgt eine neue cellulare Bildung der albuminoiden Stoffe; mitunter werden die gesammten Organe der sich zersetzenden Pflanzen durch ein Pilzgewebe ersetzt. Der alte Humus enthält in diesem Falle eine Menge leicht zersetzbarer Stoffe. Das Vorhandensein dieser erklärt die in meinem Buche angeführte Thatsache, nämlich, daß die seit langer Zeit in Zersetzung begriffenen Stoffe fortfahren, sich mit derselben Schnelligkeit zu verändern, wie diejenigen, bei denen der Zersetzungsprozeß soeben erst beginnt.

Alle diese Thatsachen spielen in der Agrikultur eine große Rolle, doch will ich hier diese Frage des Weiteren nicht erörtern. Ich erinnere nochmals daran, daß alles bisher Gesagte sich nur auf diejenigen Materialien bezieht, welche sich unter dem Einflusse der Luft zersetzen und zwar ohne Salpeterbildung. In einer anderen Arbeit werde ich die Zersetzungsprozesse bei Abschluß der Luft darlegen und andererseits die von der Bildung von Stickstoffsäuren begleitete Zersetzung.

II.

Eine weitere Reihe von Beobachtungen, welche ich hier besprechen will, betrifft die Bedingungen, welche für die Schnelligkeit der Zersetzung der verschiedenen vegetabilischen Ueberreste, sowie anderer Materien verschiedenen Ursprunges maßgebend sind.

Um eine Idee von der Schnelligkeit zu gewinnen, womit sich der Humus und die verschiedenen vegetabilischen Ueberreste zersetzen, habe ich, wie andere Beobachter, Versuche in meinem Laboratorium angestellt. Es gelangte die Zersetzung verschiedener Materialien zur Untersuchung bei veränderlicher Temperatur und bei einem gleicherweise veränderlichen Feuchtigkeitsgrade unter dem Einflusse der freien Luft. Die Versuche wurden, unter anderen, mit Tannennadeln, Birkenlaub und Heu angestellt; diese Versuche sind in meinem Buche veröffentlicht.

Der Zweck derselben war, zu erforschen, mit welcher Schnelligkeit die Zersetzung der Schichten todter Blätter in den Gehölzen erfolgt, wie auch diejenigen todter Pflanzen der Wiesen und Steppen.

Es kamen 114,83 gr Heu zur Verwendung, welche 100 gr trockenem Material entsprechen, und 112,38 gr federigen Pfriemengrases, ebenfalls 100 gr trockene Substanz enthaltend. Dieselben wurden der Verwesung unterworfen, indem man sie in Schalen brachte, welche feuchter Luft ausgesetzt waren.

In der Folge wurde der Inhalt der Schalen in Röhren verbracht, durch welche ein ununterbrochener Luftstrom geleitet wurde und dieser Luftstrom mußte erst durch Röhren gehen, von welchen die einen Kali, die andern Wasser enthielten (um ein Austrocknen der sich zersetzenden Substanzen zu verhindern). Die aus letzteren sich entwickelnde Kohlensäure wurde in mit Aetznatron gefüllten Röhren aufgefangen, deren Gewicht man jeden Tag feststellte. Unter diesen Bedingungen erhielt man:

	Kohlensäure aus der Zersetzung des Pfriemengrases herrührend.	Kohlensäure aus dem Heu herrührend.
Während der 25 Tage des Versuches	5,0376 gr	5,1190 gr
Der Tagesdurchschnitt beträgt daher	0,2015 »	0,2048 »
Wassergehalt in dem sich zersetzenden Material nach Beendigung des Versuches	69,97 %	71,86 %.

Man sieht also, daß das federige Pfriemengras und Heu aus dem Regierungsbezirk von Petersburg sich mit gleicher Schnelligkeit zersetzt haben. Die geringe Differenz in der erhaltenen Kohlensäure entspricht der Differenz des Wassergehaltes.

Da der Wiesenhumus mehr nach Norden gelegener Gegenden und der Humus des Tschernozem aus Pflanzen herrühren, welche unter sich identischer Natur sind (namentlich grasartiger Pflanzen) und die sich ebenfalls unter gleichen Bedingungen entwickeln, so muß man annehmen, daß diese, denselben Bedingungen unterworfenen zwei Humusarten sich auch mit derselben Schnelligkeit zersetzen.

Um dies zu beweisen, habe ich zwei Bodenmuster untersucht: Tschernozem, welcher 9,203 % organischer Substanzen enthielt, und Wiesenboden von Borovitsch, Gouvernement Novgorod, mit 4,576 % organischer Substanzen. Der Tschernozem wog 162,35 gr und der Boden von Borovitsch 325,10 gr. Diese beiden Proben wurden nach Verhältniß von 0,5 ihres Absorbirungsvermögens angefeuchtet, in flache, vorher gewogene Glasgefäße gethan und mit Papier bedeckt. So verblieben sie einen Monat, indem man sie von Zeit zu Zeit besprengte. Nach Ablauf eines Monats befeuchtete man sie von Neuem. Beide Bodenarten wurden nun in Röhren gebracht und die frei werdende Kohlensäure bestimmt. Solcherweise fand man:

	Tschernozem.	Wiesenboden.
Kohlensäure	0,6182	0,6290
Tagesdurchschnitt	0,01994	0,02029
Feuchtigkeit nach Beendigung der Versuche	32,7 %	33,4 %.

An organischen Substanzen enthielten diese zu den Versuchen verwendeten Bodenarten:

Tschernozem	14,93 gr
Boden von Novgorod	14,88 ».

Da also der Tschernozem und der Boden von Novgorod die gleiche Menge Kohlensäure absonderten und die organischen Substanzen auch die gleichen waren, so kann man sagen, daß die Zersetzung des Humus in beiden Fällen mit derselben Geschwindigkeit vor sich gegangen ist. In meinem Buche habe ich gezeigt, daß die Umwandelung verwesender vegetabilischer Ueberreste in eine gestaltlose Humusmasse durch verschiedene Thiere hervorgebracht wird.

Zur Zeit, wo alle Welt die Arbeiten von *von Post*[1]) und von *Müller*[2]) kennt, kann kein Zweifel mehr hierüber bestehen. Die Pulverisation der vegetabilischen Ueberreste durch Thiere erfolgt überall, mit Ausnahme der niedrigen Flächen, wo sich Wasser ansammelt. In diesem letzteren Falle bildet sich Torf, welcher die Struktur der Pflanzen, aus denen er herrührt, beibehält. Bisher hat Niemand untersucht, welchen Einfluß diese Pulverisation der vegetabilischen Ueberreste durch Thiere auf die Zersetzung ausübt, deshalb habe ich eine Anzahl Versuche über diesen Punkt angestellt. Bis jetzt habe ich nur Gelegenheit gehabt, den Einfluß von drei Thierarten zu untersuchen: der Regenwürmer, der Polypoden (Julus terrestris) und der Larven von Sciara. Ich habe nun die verschiedenen von diesen Thieren durchnagten Materien geprüft und Folgendes gefunden:

1) Die todten Blätter verschiedener Art (Eichen-, Ahorn-, Birkenblätter) wurden zunächst in zwei Schalen der Verwesung übergeben; in der einen befanden sich Regenwürmer, welche das Laub vollständig zernagten, während in der anderen das Laub seine Struktur noch beibehielt. Zu dem Versuche wurden 75 gr trockenen Materials von beiden Blattproben genommen und mit je 70 ccm Wasser befeuchtet. Darauf ließ man beide Proben einen Monat ruhen und

1) Diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 350.
2) Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin. 1887.

brachte sie dann in besondere Röhren, um die frei werdende Kohlensäure zu bestimmen. Dieselbe betrug:

	Zernagte Blätter.	Nicht zernagte Blätter.
Gesammtmenge während 8 Tagen	0,9384 gr	0,8338 gr.

2) Das federige Pfriemengras aus dem Regierungsbezirk Charkoff wurde nach mehr als einjähriger Zersetzung in eine Schale gethan und darin von Sciara-Larven zernagt. Dann wurden 75 gr mit 100 ccm Wasser vermengt und die Versuche wie oben durchgeführt.

Man fand hierbei folgende Kohlensäuremengen:

	Zernagtes Pfriemengras.	Nicht zernagtes Pfriemengras.
Täglicher Durchschnitt	0,1686 gr	0,1698 gr.

3) Eichenlaub nach einjähriger Zersetzung. Versuche wie oben mit je 60 gr von Jules terrestris zernagten Blättern und nicht zernagten Blättern:

	Zernagte Blätter.	Nicht zernagte Blätter.
Kohlensäure	0,663 gr	0,638 gr.

Die Pulverisirung der Blätter übt somit keinen wesentlichen Einfluß auf die Schnelligkeit der Zersetzung. Betrachtet man Humusproben, welche von Thieren zernagt wurden, so ist es schwer, mit bloßem Auge die Pflanzen zu erkennen, aus welchen der Humus gebildet wurde. Mit Hülfe des Mikroskopes vermag man den Humus noch zu erkennen, nachdem die Arbeit des Zernagens seitens der Thiere begonnen hat, man unterscheidet denjenigen, welcher aus Grasarten entstanden ist. In der Natur wandern die humusartigen Substanzen durch mehrere Organismen. Die einmal durchnagten Materien sind, nachdem sie als Excremente deponirt wurden, vermuthlich nicht mehr als thierische Nahrung verwendbar, doch alsbald treten Pilze und Bakterien auf, die binnen Kurzem eine große Menge albuminoider Substanzen etc. erzeugen und so kann der Humus wiederum als Nährmittel dienen, doch ist nunmehr die Struktur der Pflanzen, aus welchen er entstanden, vollständig zerstört. Das ist auch der Grund, weshalb die mikroskopische Analyse des Tschernozem, wie es die Arbeit von *P. Krutitzky* gezeigt hat, nicht festzustellen vermag, aus welchen Pflanzen die organischen Stoffe jenes Bodens gebildet wurden. Ist der Humus einmal in dieses Stadium gelangt, so bleibt seine Zersetzung unter gleichen Bedingungen auch die gleiche, sei er von Steppengräsern oder von Baumblättern gebildet. Dieser Schluß ist das Resultat von allem oben Gesagten. Als weitere Bestätigung kann auch folgender Versuch dienen: Man ließ Steppenheu und Eichenblätter nach einjähriger Zersetzung von Sciara-Larven durchnagen. Die Materialien wurden dann getrocknet, um die Larven zu tödten, darauf nochmals mit Wasser angefeuchtet und verblieben 4 Sommermonate lang in feuchtem Zustand.

Diese Substanzen kamen nun in Schalen, worin Regenwürmer befindlich waren, die man mehrere Monate lang ihre Arbeit verrichten ließ. Darauf neues Austrocknen der Masse in freier Luft. Davon wurden 50 gr trockenen Materials beider Humusarten genommen und mit 50 ccm Wasser angefeuchtet, um die

Schnelligkeit der Zersetzung zu bestimmen. Einen Monat verblieb Alles in diesem Zustande, um schließlich in Röhren gebracht zu werden und nun wurde die Kohlensäure in gewohnter Weise wie folgt ermittelt:

	Humus aus Heu.	Blätterhumus.
Totalmenge in 10 Tagen	1,0222 gr	1,0167 gr
Täglicher Durchschnitt	0,10222 »	0,10167 ».

Diese Versuche zeigen uns, daß die Anhäufung von organischen Stoffen in einigen Bodenarten (wie z. B. im Tschernozem) nicht von spezifischen Eigenschaften des sich bildenden Humus abhängt, sondern von gänzlich äußerlichen Ursachen, welche die Zersetzung der organischen Substanzen beeinflussen; als Beweis hierfür mögen die oben beschriebenen Versuche mit Tschernozem und Novgoroder Boden dienen.

Was den größten Einfluß auf die Schnelligkeit der Zersetzung des Boden-Humus ausübt, das ist das Durchsickern des Wassers in dem Boden. Ist dieses Eindringen von Wasser möglich, so wird der Boden bis zu großen Tiefen feucht. Das durchsickernde Wasser verdrängt die bereits mit Kohlensäure geschwängerte Luft und begünstigt deren Ersetzung durch atmosphärische Luft: es ergeben sich mithin Bedingungen, welche für die Vermehrung niederer Organismen, also auch für die Zersetzung organischer Substanzen günstig sind.

Die Böden des Tschernozem können sich sämmtlich setzen, und untersucht man während regnerischem Wetter die nie bearbeiteten Steppen, so wird man finden, daß das Wasser nur bis zu gewissen, geringen tiefen Schichten eindringt. Das ist der Grund für die sehr langsame Zersetung der organischen Stoffe. Die Untersuchungen der Bodenarten von Nijni-Novgorod haben gezeigt, daß die Humusmenge desto größer ist, je mehr Thon sich vorfindet. Ist dagegen die Thonmenge eine geringe und Sand vorherrschend, die Durchdringlichkeit also eine größere, so vermindert sich der Humus immer mehr und mehr. Das bestätigt auch den Schluß, den ich aus meinen Untersuchungen gezogen habe, nämlich, daß die Dichtigkeit und Beschaffenheit des Bodens einen entschiedenen Einfluß auf die Anhäufung des Humus ausüben. Diese Darlegungen erhalten eine weitere Bestätigung durch die Arbeiten von *Korzchinsky*[1]) über den Tschernozem des Nordens. Er beweist, daß die Zersetzung der organischen Materien um so schneller erfolgt, je leichter der Boden durchsickert wird. Herr Professor *Korzchinsky* hat gezeigt, daß im Tschernozem des Nordens die Anpflanzungen auf der Steppe gewinnen und daß, wo man Gehölz auf dem Boden entstehen sieht, der Boden einen geringeren Humusgehalt aufweist; daß ferner an Stelle des Tschernozem sich unter dem Holze jene graue Erde bildet, welche früher als eine Vorstufe zum Tschernozem angesehen wurde. In die mit Gehölz bedeckten Bodenflächen dringt das Regenwasser leichter ein als in den Steppenboden und zwar aus zwei Gründen. Erstens verhindern die Schichten todter Blätter und Holztheilchen, womit der Waldboden bedeckt ist, das Abfließen des Wassers. Zweitens ist die oberste Schicht des Waldbodens weicher und deshalb mehr aufsaugungsfähig als die oberste Schicht des Steppenbodens, welcher durch nichts gegen Austrocknen geschützt ist.

---

[1] Diese Zeitschrift. Bd. XII. 1889. S. 252.

Um die Wirkungen klar zu legen, welche ein wiederholtes Durchsickern von Wasser im Tschernozem zu verursachen vermag, habe ich in meinem Laboratorium folgenden Versuch gemacht:

Zur Verwendung kam der Boden aus der Forstverwaltung von Vilikoanadolsk (Regierungsbezirk Ekaterinoslan im Distrikt von Marioupolsk). Von diesem Boden habe ich in zwei zylindrische Gefäße eine Lage von 0,15 m, 3000 Gramm wiegend, gethan; in einem Gefäß wurde der Boden mit einer Lage todter Eichenblätter, im Gewicht von 150 Gramm, bedeckt und dann beide Bodenschichten reichlich mit Wasser begossen, welches in untergestellte Gefäße abfloß. Hierzu verwendete man folgende Wassermengen:

Für den mit Blättern bedeckten Tschernozem	10 100 ccm.
Für den nicht bedeckten Tschernozem	10 125 ccm.

In die untergestellten Gefäße gelangten mittelst Filtration farblose Lösungen und bald bemerkte man einen Satz von kohlensaurem Kalk, welcher jedenfalls in Form von Bikarbonat den Boden verlassen hatte. Der Versuch dauerte ein Jahr lang. Das durch den Boden filtrirte Wasser wurde aufgefangen und in Platina-Gefässen verdampft. Die übrig gebliebenen festen Bestandtheile analysirte man und erhielt folgendes Resultat:

	Trockener Boden °/o.	Gramm in der Auflösung. Mit abgestorbenen Blättern bedeckt.	Ohne Decke.
Organische Stoffe	8,461	—	—
Chemisch gebundenes Wasser . . .	3,257	—	—
Glühverlust	11,718	1,9012	1,2530
In Salzsäure löslich:			
Kieselsäure	16,508	0,3128	0,1805
Thonerde	6,337 }	0,2704	0,0204
Eisenoxyd	4,984 }		
Manganoxyd	0,234	0,1018	0,0219
Kalk	2,088	1,3569	1,7618
Magnesia	1,715	1,3483	0,3667
Kali	0,736	0,0726	0,0496
Natron	0,103	0,0654	0,0593
Phosphorsäure	0,108	0,0053	Spuren
Schwefelsäure	Spuren	0,0839	0,1611
Kohlensäure	0,424	—	—
Gesammtmenge der löslichen Stoffe	24,938	—	—
Unlösliche Stoffe (Thon und Sand) .	63,344	—	—.

Nach Beendigung des Versuches bestimmte man den Inhalt an organischen Substanzen in beiden Böden und fand:

In dem mit Blättern bedeckten Boden	7,30 °/o
In dem unbedeckten Boden	6,57 ».

Das Gewicht der organischen Substanzen war also in beiden Fällen geringer geworden. Bei Beginn des Versuches betrug die Gesammtmenge derselben 8,461 gr $\times$ 3 = 253,83 gr. Von dieser Quantität zersetzte sich im Laufe des Jahres:

Mit der Blätterdecke	34,80 gr.
Ohne Blätterdecke	56,70 »

Das Vorhandensein einer Schicht abgestorbener Blätter an der Oberfläche des Bodens war demnach für die Zersetzung der organischen Stoffe im Boden selbst kein Hinderniß; immerhin könnte es scheinen, als ob sich die Zersetzung verlangsamt habe, doch muß man den gefundenen Unterschied ohne Zweifel auf die in den Blättern enthaltenen organischen Substanzen zurückführen, welche, vom Wasser aufgelöst, dem Boden zugeführt wurden. Der Tschernozem zeigte nach dem Versuch eine andere Farbe und ähnelte in seinem Aussehen den grauen Erden. Das Wasser entzog dem mit Blättern bedeckten Boden 6 gr mineralische Substanzen und dem nicht bedeckten Boden nahe an 4 gr, also 0,2 % und 0,13 % und waren dieselben jedenfalls aus den Stoffen gebildet, welche nebst den verschwundenen organischen Substanzen die Bodenpartikelchen zementirten. Dieser Umstand erklärt die Thatsache, daß der Boden weniger kompakt geworden war und sich den grauen Erden ganz wesentlich genähert hatte.

Ich will hier die Einzelheiten der Veränderungen des Bodens nicht näher erörtern, da dies bereits geschehen ist.

Dagegen wünsche ich besonders darauf hinzuweisen, daß alle diese Veränderungen aus der Einwirkung niederer vegetabilischer Wesen entspringen. Diese letzteren entwickeln und vermehren sich im Tschernozem in erstaunlicher Menge (vorausgesetzt, daß ein Durchsickern von Wasser durch den Boden besteht) und wird diese starke Entwickelung wahrscheinlich durch die große Menge von Nährstoffen in Form von organischen Substanzen verursacht. Ueberall war der Tschernozem von Bakterien erfüllt und von Pilzfäden durchfurcht, welche sich nach allen Richtungen hin verbreiteten.

In den Bodenarten, deren Farbe ausschließlich von mineralischen Stoffen abhängt und welche nur sehr wenig organische Substanzen enthalten, können die niedern Organismen hingegen eine andere Rolle von größter Wichtigkeit spielen: sie begünstigen nämlich eine gleichmäßige Vertheilung der organischen Substanzen, während ohne sie die Wurzelüberreste nur auf einige Stellen lokalisirt bleiben würden.

Ich hatte Gelegenheit, diese von den niedern Pflanzen verrichtete Arbeit zu beobachten. Ich fand im Regierungsbezirk von Saratoff auf Stielen der Sonnenblume eine Krankheit, welche nach *Woronin*'s Meinung durch Peziza sclerotiorum verursacht war. Bei dem Wurzelhals der kranken Pflanzen war die Oberfläche des Bodens vollständig weiß, hervorgerufen durch das Mycelium des Pilzes. In weiterer Entfernung verschwand aber das Mycelium immer mehr und mehr und der Tschernozem erschien wieder in seiner gewöhnlichen Farbe. Untersuchte man einen Stich Tschernozem, so fand man, daß der Unterboden bei den Wurzeln der abgestorbenen Pflanzen dunkel erschien. Weiterhin zeigte er sich

heller, um in einiger Entfernung schließlich wieder die gewöhnliche Farbe des Unterbodens anzunehmen. Man erklärt sich diese Veränderungen häufig aus den aufgelösten organischen Stoffen, welche sich im Unterboden verbreiten, doch glaube ich, daß diese Erklärung nicht ausreichend ist. Die aus todten Pflanzen herrührenden Substanzen sind zum größten Theil kolloidale Stoffe, welche sehr schwer ihren Platz verändern; um sie aufzulösen, ist viel Wasser erforderlich, deshalb sind die Auflösungen organischer Stoffe im Boden sehr schwach; außerdem sind dieselben in Tschernozem mit Kalk, Eisenoxyd u. a. m. verbunden. Schließlich vollzieht sich, wie wir gesehen haben, während des Eindringens von Wasser in den Boden eine reichliche Zersetzung der organischen Substanzen. So war ich auch über die Ausbreitung des Humus in unmittelbarer Nähe der Wurzeln todter Pflanzen vollständig im Unklaren, ehe ich die oben zitirten Versuche betreffend die Krankheit der Sonnenblume gemacht hatte.

Diese Versuche wurden in folgender Weise angestellt: Ich nahm die trocknen Wurzeln verschiedener Pflanzen, legte sie in ein Glas und bedeckte sie mit gelbem Tschernozem-Unterboden; die Erde wurde mit Wasser angefeuchtet im Verhältniß von ein Halb zu einem Drittel ihres Absorptionsvermögens und man erhielt sie in diesem Zustande (das Glas wurde mit stets feucht erhaltenem Papier bedeckt).

Nach einigen Tagen untersuchte man die in der Nähe der Wurzeln befindliche Erde und fand sogleich, daß sich um die Wurzeln herum eine große Menge von Mycelium gebildet hatte. Die Pilze lebten auf Kosten der Wurzeln und verbreiteten, so zu sagen, die in den letzteren enthaltenen organischen Stoffe in horizontaler Richtung. Als der Boden nach einigen Monaten austrocknete, wurde die die Wurzeln umgebende Erde in deutlich erkennbarer Weise dunkler. Ich zerbrach vorsichtig das Glas und durchschnitt mit einem Messer den Boden, um die hervorgebrachte Wirkung zu untersuchen.

Da wo der Boden angefeuchtet war, sah man sehr deutlich die Veränderung der Farbe, denn die vom Humus gefärbten Stellen waren bedeutend dunkler geworden, während die nicht gefärbten Stellen ihre Farbe fast nicht geändert hatten.

Unter solchen Bedingungen konnte sich keine Bewegung des Wassers vollziehen, denn die Feuchtigkeit war überall die gleiche; außerdem war die Feuchtigkeit eine derartige, daß, während des Austrocknens der oberen Schichten, das Aufsteigen des Wassers im Boden selbst kaum bestimmbar sein konnte.

Einige Forscher (zum Beispiel *Schumacher* und *Eser*) verneinen vollständig die Möglichkeit einer Ortsveränderung des Wassers unter solchen Feuchtigkeitsverhältnissen, obgleich das nicht durchaus richtig ist.

Das sind die Gründe, welche mir jeden Zweifel ausgeschlossen erscheinen lassen, daß nicht allein die niederen Pflanzen den Humus bilden, sondern daß sie auch eine Vertheilung der organischen Substanzen im Boden und folglich eine gleichmäßige Verbreitung in der ganzen Masse begünstigen.

Die Bakterien spielen dieselbe Rolle, doch interessirt uns augenblicklich nicht die Untersuchung ihrer Thätigkeit.

Aus allem oben Gesagten geht also hervor, daß die organischen Stoffe da im Boden verbleiben, wo sie durch niedere, sich daselbst entwickelnde Pflanzen

oder Thiere gebildet worden sind, und daß das Eindringen organischer Substanzen in den Boden nur in geringem Maße erfolgen kann. Das gilt nach meinem Dafürhalten nur für die an Kalk, Magnesia, Eisenoxyd etc. armen Bodenarten, im Allgemeinen für diejenigen, welche arm an Basen sind, die mit den Säuren des Humus unlösliche Verbindungen geben. Man könnte mir folgenden Einwurf machen, daß es nämlich schwer begreiflich sei, wie die Verbindungen der Säuren mit Kalk und andern Basen sich im Humus erzeugen können, wenn die Humussäuren unlöslich und unbeweglich bleiben.

Ich bin nun der Meinung, daß diese Reaktion nichts Unverständliches in sich schließt. Wässert man Tschernozem so stark, daß ein Theil durch den Boden filtrirt, so findet man in dem abfließenden Wasser Kalk unter der Form von Bikarbonat; die Auflösung dieses Salzes erfolgt also stets unter dem Kontakt mit feuchtem Humus. Die Verbindung der Humussäuren mit Kalk kann selbst in einem Boden vor sich gehen, in welchem das Wasser unbeweglich ist; wenn eine Vereinigung von Bodenpartikelchen besteht, auf welche sich die Humusstoffe abgesetzt haben, so wird die Feuchtigkeit nur einen sehr kleinen Theil davon auflösen; gleichzeitig wird die Auflösung Kalk enthalten, welcher fähig ist, sich im Boden zu verbreiten. Der Kalk wird sich absetzen, indem er eine Verbindung mit den Humussäuren eingeht; die durch diesen Niederschlag der Säuren und des Kalkes beraubte Lösung erlangt die Eigenschaft, von Neuem eine kleine Menge Humussäure aufzulösen, welche ihrerseits sich mit durch Ausbreitung zugeführtem Kalk verbinden wird.

Ziehen wir in Betracht, daß im Tschernozem die Humussäuren sich fast ausschließlich in der Form von Kalksalzen zeigen, so werden wir von der Richtigkeit der obigen Darlegungen überzeugt sein.

Ehe ich schließe, möchte ich noch an eine Stelle meines Buches erinnern, wo ich sage, daß die aus der Zersetzung von Pflanzenüberresten herrührenden dunkel gefärbten Produkte sich nur unter dem Vorhandensein von Pilzen bilden und sich nicht bilden, wenn nur Bakterien vorhanden sind.

Diese Thatsache ist durch viele spätere Versuche bewiesen worden, und will ich hier noch folgende Bemerkung einschalten; die Bildung der dunkelfarbigen Produkte einer Zersetzung ist nicht immer auf die spezifischen Verrichtungen der Pilze zurückzuführen; in vielen Fällen erfolgt sie ausschließlich dadurch, daß die Pilze die Säurereaktion des Substrats, worauf sie sich ausbreiten, zerstören. Wir haben dann ganz ähnliche Vorgänge wie bei der Pyrogallussäure und ihren Salzen; diese letzteren, wie bekannt, nehmen in freier Luft sehr schnell eine schwarze Farbe an, indem sie sich den Sauerstoff der Luft aneignen. Gestaltet man die Produkte einer Bakterienzersetzung alkalisch (zum Beispiel mit Hülfe von Ammoniak), so werden sie durch Oxydation schwarz. Der gleiche Vorgang vollzieht sich in dem morschen Splint der Birke durch Entwickelung des Polyporus betulinus und anderer Pilze. Indem die Pilze die Säurereaktion des Substrats zerstören, befähigen sie dasselbe, sich leicht zu oxydiren und folglich eine schwarze Färbung anzunehmen.

Für den Augenblick begnüge ich mich mit dieser kurzen, auf viele Fälle anwendbaren Bemerkung; immerhin will ich noch hinzufügen, daß es Pilze giebt,

welche die spezifische Eigenschaft haben, die in Zersetzung begriffenen Substanzen zu schwärzen, doch will ich nur auf diese Thatsache hinweisen, ohne auf einen, neue Untersuchungen mit sich führenden Gegenstand näher einzugehen.

R. W.

S. Winogradsky. **Recherches sur les organismes de la nitrification.** (5e Mémoire.) Annales de l'Institut Pasteur. 1891. Nr. 9. p. 577—616.

E. W. Hilgard. **Soil studies and soil maps.** Overland Monthly. Dezember 1891.

II. Physik der Pflanze.

Ueber den Sitz des schwersten Kornes in den Fruchtständen bei Getreide und in den Früchten der Hülsenfrüchte.

Von Professor **C. Fruwirth** in Mödling.

Der Werth des schwersten Kornes für den Anbau.

Als den für die Saat besten Samen kann man den nährstoffreichsten und mit der günstigsten Vererbungskraft versehenen bezeichnen. Die zweite der erwähnten Forderungen, welche an einen Samen gestellt werden können, umfaßt eine unter Umständen sehr beträchtliche Zahl von Einzelforderungen, die je nach dem Zuchtziel sich ändern können. Die Forderung des Reichthums an Nährstoffen deckt sich ziemlich mit der Forderung nach Größe [1]) oder der damit übereinstimmenden Schwere [2]) des Kornes, und diese Forderungen fanden in der Theorie sowohl als auch in der Praxis die weitgehendste Verbreitung.

Die Auswahl der schwersten Samen einer Sorte ist bereits Züchtung und zwar kann dieselbe, wenn wir den Ausführungen *Rümker*'s [3]) folgen, der empirischen oder methodischen Zuchtwahl angehören. Sie ist Gegenstand der ersteren, wenn aus der Gesammtmasse der erdroschenen Körner die schwersten ausgeschieden und verwendet werden. Dagegen gehört

[1]) *Marek*, Das Saatgut, 1875, pag. 12, weist Zusammenhang zwischen beiden nach.

[2]) *Wolffenstein*, Journal für Landwirthschaft, 1875, p. 299. Er weist darauf hin, daß nach *Müller* der Nährstoffgehalt schneller steigt als das absolute Gewicht.

[3]) *Rümker*, Anleitung zur Getreidezüchtung. Berlin, Parey, 1889.

sie der methodischen Zuchtwahl an, wenn die besten Aehren ausgewählt und aus den Körnern derselben die schwersten zum Anbau ausgesondert werden. Der Erfolg der Auswahl der schwersten Körner einer Sorte zum Anbau ist in der Steigerung des Ertrages gegeben. Für die Richtigkeit dieser Behauptung sprechen die Resultate einer sehr bedeutenden Zahl von Versuchen, welche von verschiedenen Forschern ausgeführt wurden.

Einer dieser Versuche rührt von *Lehmann* her, wurde als Beetversuch mit kleinen, mittelgroßen und großen Samen einer Erbsensorte angestellt und ergab sowohl für dieselbe Zahl ausgelegter Samen bei gleichem Bodenraum, als auch bei gleichen Gewichtsmengen ausgesäter Samen einen mit der Größe der Samen steigenden Mehrertrag an Körnern[1]).

Mit Getreide (mit Gerste, Hordeum vulgaris) wurden einschlägige Versuche von *Hellriegel*[2]) bereits früher mehrfach und zwar in beschränktem Bodenraum ausgeführt und festgestellt, daß der schwerere Same auch auf die Größe der Pflanzen derart einwirkt, daß sich der Unterschied später nicht mehr verwischt und nur auf sehr reichem Boden weniger hervortritt. Ebenso wurde der geringe Einfluß des spezifischen Gewichtes in gleicher Hinsicht festgestellt.

Marek beschäftigte sich mit dem Vergleich großer und kleiner Körner von Pferdebohnen, Erbsen und Sommerweizensorten. Die Versuche wurden als Beetversuche bei Dibbelsaat ausgeführt. Sowohl die Körner-, als auch die Strohernte war bei gleichem Bodenraum bei den größeren Samen eine größere, ebenso war die Qualität der Körner bei den Ernten aus großen Samen eine bessere[3]). Nach *Birner* und *Troschke*, welche mit Erbsen und Roggen arbeiteten, wurden sehr umfassende Versuche von *Wollny* angestellt und zwar gleichfalls als Beetversuche. Der Same wurde mit Handsaat gedibbelt und zwar derart, daß an jeder Dibbel-

---

1) «Zeitschrift des landwirthschaftlichen Vereins in Bayern» 1869, zitirt in *Haberlandt*, Pflanzenbau, Wien 1879, pag. 99. Später auch «Zeitschrift des landwirthschaftlichen Vereins in Bayern» 1875, pag. 2, unter Hinweis darauf, daß Düngung und Wässerung das Ueberwiegen der größeren Körner etwas verringert, nicht aufhebt.

2) Beiträge zu der naturwissenschaftlichen Grundlage des Ackerbaues 1883, Braunschweig, pag. 42 und die folgenden.

3) *Marek*, Das Saatgut und dessen Einfluß auf Menge und Güte der Ernte. 1875. Wien.

stelle mehrere Samen gelegt wurden und man die Pflanzen später verzog. Der Boden war nicht frisch gedüngt worden, so daß etwaige Verschiedenheiten in den künstlichen Ernährungsbedingungen nicht so sehr in den Vordergrund treten konnten. Die Versuche wurden mit Recht oben bereits umfassende genannt. Sie bezogen sich auf drei Sorten Roggen, Buchweizen, 2 Sorten Pferdebohnen, Saat-Wicken, Narbonner-Wicken, Viktoria-Erbsen, weiße Lupinen, braune und schwarze Sojabohnen, Sommerraps und weißen Senf [1]). Auch diese Versuche führten zur Erkenntniß, daß große Samen großen Einfluß auf die Höhe der Ernten haben.

Nach *Wollny* wandte sich *Maar* demselben Gegenstand zu und zog zu den Versuchen, welche durch 6, zum Theil 7 Jahre fortgesetzt wurden, Weizen, Roggen, zwei- und sechszeilige Gerste und Hafer heran [2]). Auch diese Versuche ergaben einen bedeutenden Einfluß der zunehmenden Korngröße auf die bessere Ausbildung der Pflanzen und die Vergrößerung der Ernte. Bei Weizen und zweizeiliger Gerste waren die Beziehungen in allen Fällen zu ersehen, bei sechszeiliger Gerste, Roggen und Hafer zeigten sich bei den drei höheren Korngrößen einige Schwankungen und trat nur der in angedeuteter Richtung verschiedene Minderwerth der beiden geringsten Korngrößen deutlich hervor. Weitere Versuche von *Nielsen* [3]) ergaben bei Beet- und bei Parzellenversuchen gleichfalls den höheren Einfluß größeren Saatguts auf den Ertrag. Die Versuche wurden mit zwei- und sechszeiliger Gerste und gewöhnlichem, sowie auch Neu-Seeland-Hafer angestellt.

Nach allen vorliegenden Versuchen kann man die beiden von *Wollny* aufgestellten Sätze: «Die Quantität des Ertrages wächst mit der Größe des ausgelegten Samens und die Qualität der geernteten Körner hängt von der Größe der Saatkörner ab derart, daß große Körner hauptsächlich wieder große, kleine wieder kleine Körner geben» [4]), als auch anderweitig vollkommen bewiesen ansehen.

---

[1]) *Wollny*, Saat und Pflege der landwirthschaftlichen Kulturpflanzen. Berlin 1885, Parey, pag. 66.

[2]) *Biedermann*'s Zentralblatt für Agrikulturchemie, XVIII., pag. 97 (nach dem dänischen Original).

[3]) *Biedermann*'s Zentralblatt für Agrikulturchemie, XVIII., pag. 697.

[4]) *Wollny*, Saat und Pflege, pag. 68.

Neuere Feldkulturversuche, welche mit «Golden Wax»-Fisole auf den Versuchsflächen der New-Yorker Versuchsstation bei gleicher Pflanzenzahl auf derselben Fläche vorgenommen wurden, zeigen gleichfalls durch zwei Jahre hindurch sehr deutlich den Erfolg der Verwendung größerer Körner mit Rücksicht auf Ertragssteigerung[1]. Im Jahre 1887 wurde je die gleiche Zahl große und kleine Samen für sich angebaut und 1888 sowohl große und kleine Samen aus der Ernte von den großen Samen, als auch große und kleine Samen aus der Ernte von den kleinen Samen. Selbst die 1888 angebauten kleinen Samen aus der Ernte der 1887 angebauten großen ergaben einen höheren Ertrag als die großen Samen, die von der Ernte der 1887 angebauten kleinen stammten.

Den angeführten Versuchsresultaten stehen jene gegenüber, welche *Nowoczek*[2] mit Gerste und Wachs-, Dattel-Buschbohnen erzielte und welche ihn zu dem Schlusse veranlaßten, daß «nicht immer das größte Korn den höchsten Ertrag giebt». Aber auch aus seinen Versuchen erhellt unzweifelhaft der höhere Werth des schwereren Kornes, da die höheren Erträge mit schwereren Körnern erzielt wurden. Da zwar schwerere Körner auch geringere Erträge gegeben haben, nie aber durch die leichtesten Körner Erträge, welche unter die besten einzureihen sind, so ist es vielleicht zulässig, die Fälle, in welchen schwerere Körner keine günstigen Erträge gaben, äußeren, ungünstigen Einflüssen zuzuschreiben. Dies läßt sich eben nur nach vollständiger Kenntniß des Versuchsverlaufes beurtheilen. Vielleicht stand den Pflanzen nicht genügend Wasser zur Verfügung, wodurch gerade die Pflanzen aus großem Saatgut mit ihrer stärkeren Entwickelung mehr gelitten hätten.

Mit dem Grunde der Erscheinung beschäftigte sich *Wollny* und führt mehrere Beobachtungen über Verhältnisse bei großen Samen an. Dieselben erwiesen sich als (absolut) nährstoffreicher[3]. Der Embryo derselben ist, wie *Marek* nachgewiesen hat, kräftiger, so daß für reichere Ernährung der in ihren Theilen kräftigeren Pflanzenanlagen gesorgt erscheint. Die aus größeren Samen erwachsenen Pflanzen zeigten sich auch,

---

[1]) Annual Report of the New-York States Agricultural Experiment-Station. 7. Jahresbericht, pag. 368.

[2]) Jahresbericht der landwirthschaftlichen Mittelschule zu Kaden, 1891.

[3]) Untersuchungen über die Werthbestimmung der Samen als Saat- und Handelswaare. Journal für Landwirthschaft, 1875, pag. 299, und *Marek*, pag. 186.

nach *Hellriegel, Tautphöus* und *Marek,* in allen ihren Theilen kräftiger entwickelt [1]), was auch im inneren anatomischen Bau zum Ausdruck kommt, wie dies durch die von *Marek* an Erbsenpflanzen vorgenommenen Messungen der Dicke der Schichten der einzelnen Gewebe und Zählung der Gefäßbündel gezeigt wurde [2]). Nach *Wollny*'s Beobachtungen endlich erwiesen sich Pflanzen, die aus größeren Samen erwachsen waren, widerstandsfähiger gegen Spätfröste (Erbsen) und überwinterten besser (Roggen) [3]).

Wenn es somit gestattet ist, das schwerere Saatgut einer Sorte als das bessere hinzustellen, verdient doch noch zweierlei hervorgehoben zu werden: der Umstand, daß die Kornschwere nicht das einzige Moment der Züchtung sein kann, und ein Hinweis auf die Beziehung zwischen Züchtung überhaupt und den übrigen Kulturmaßregeln.

Wenn *Wolffenstein* [4]) ein Kapitel damit einleitet, daß er sagt: «Das Sortiren von Saatgut hat mit der Auswahl der Mutterpflanzen zu beginnen», so weist er damit in gedrängtester Kürze bereits darauf hin, daß neben der Kornschwere noch andere Momente bei der Wahl des Saatgutes zum Zwecke der Verbesserung der Form maßgebend sein können. Manche dieser Zwecke lassen sich mit der Auswahl nach der Kornschwere vereinen, manche aber, wie die Reife, nicht.

Aber selbst der Erfolg der Gesammtheit der Züchtungsmomente darf nicht überschätzt werden. Geeignete Bearbeitung, Wasser- und Nährstoffzufuhr kann wesentlich stärker auf den Ertrag einwirken als die Züchtung. Das kann nicht den Werth der Züchtung mindern, sondern soll nur vor der Meinung warnen, daß die Befolgung guter Züchtungsgrundsätze es ermöglicht, die übrige Kultur der Pflanzen weniger sorgsam zu bedenken.

Fremde Untersuchungen über den Sitz des schwersten Kornes.

Die Bedeutung der Kornschwere wurde im Vorhergegangenen durch Angaben aus der Litteratur nachgewiesen und es war ersichtlich, daß über diesen Punkt die weitgehendste Uebereinstimmung in den Resultaten der

[1]) Abmessungen, zitirt in *Wollny,* Saat und Pflege, pag. 71.
[2]) *Marek,* Das Saatgut, pag. 121.
[3]) *Wollny,* Saat und Pflege, pag. 80.
[4]) *Wolffenstein,* Journal für Landwirthschaft, 1875, pag. 262.

einzelnen Versuche besteht. Nicht in gleich sorgfältiger Weise war bis vor Kurzem die Frage nach dem Sitze der schwersten Körner in einem Fruchtstande und nach der Art der Gewinnung der schwersten Körner in einer Menge erdroschener Körner bearbeitet worden.

Die für Weizen von *Nowacki* und für sechszeilige Gerste von *Nobbe* ausgeführten Untersuchungen zur Beantwortung der Frage nach dem Sitze der schwersten Körner im Fruchtstande bei Getreide führt *Wollny*[1]) an und vereint sie mit einer auf das gleiche Ziel gerichteten Untersuchung der Roggenähre. Er drückt den Befund dahin aus: «daß das Körnergewicht in der Mitte am größten ist und von da nach oben und unten abnimmt»[2]). Weiterhin konstatirt *Wollny*, daß innerhalb der Aehrchen das schwerste Korn bei Weizen an zweiter Stelle sitzt, und daß bei sechszeiliger Gerste das mittlere Aehrchen ein schwereres Korn enthält als die gleich hoch sitzenden, seitlichen. *Haberlandt* theilte die Körner einer Weizen- und einer Gerstenähre in je drei Theile nach ihrem Stand an der Spindel, wog die Körner jedes Drittels zusammen und fand die Körner des mittleren Drittels am schwersten. Gleiches findet sich, wie er behauptet, bei Mais. *Harz*[3]) führt, ohne zu bemerken, auf welche Befunde er sich stützt, an, daß bei den Getreidearten, die alleruntersten abgerechnet, im unteren Drittel der Aehre die allerschwersten Samen (respektive Früchte) sitzen. Nimmt man den Hafer aus, so deckt sich diese Bemerkung von *Harz* mit den Befunden der neueren eingehenden Untersuchung von *Rümker* nnd den Befunden *Liebscher*'s bei Square head-Weizen.

Für Hafer fand ich bis auf *Rümker*'s Arbeit, auf welche später zurückgekommen werden muß, keinerlei Angaben in der Litteratur vor, dagegen wurde die Frage nach dem Sitze der schwersten Körner im Fruchtstande bei Mais von *Wilhelm* behandelt. Genannter Autor trennte bei mehreren Sorten des Maises den Kolben in drei gleich lange Theile und fand bei Wägung der gesammten Körner der einzelnen Theile, daß eine bestimmte Zahl Körner des untersten Drittels mehr wiegt als die gleiche Zahl Körner aus dem zweiten oder dem obersten Drittel. Bei

---

1) *Wollny*, Saat und Pflege, pag. 171.
2) *Wollny*, Saat und Pflege, pag. 170.
3) *Harz*, Samenkunde, pag. 217.

14 untersuchten Proben ergab sich nur eine nennenswerthe und zwei ganz geringfügige Abweichungen zu Gunsten der Körner des mittleren Drittels[1]).

Indem wir die abweichenden Verhältnisse bei Hafer zunächst unberührt lassen, da sie auch in der bisher angeführten Litteratur (*Rümker* ausgenommen) nicht behandelt wurden, kann festgestellt werden, daß die Autoren der älteren Arbeiten oder Bemerkungen meist als den Sitz der schwersten Körner die Mitte des Fruchtstandes angeben. Eine Ausnahme in dieser Hinsicht machen nur *Wilhelm* und *Harz*. Die erste Annahme ist auch in die Praxis übergegangen. Sie wird bei dem Zuchtverfahren des Allgemeinen schwedischen Saatzuchtvereines benützt. Die Auswahl geschieht daselbst — von übrigen Zuchtmomenten hier natürlich abgesehen — nach der Schwere der Aehren und dann nach dem Platz in der Aehre[2]) «in Folge der altbekannten Regel, daß die besten Körner der Aehre unter den im mittleren Drittel derselben sitzenden zu suchen sind». Zur Erleichterung der Arbeit wird *Neergard*'s Aehrchensortirer verwendet. In ähnlicher Weise spricht sich *v. Proskowetz* über jenen Theil seines Zuchtverfahrens aus, der die Sortirung nach der Schwere betrifft. Er giebt als Prinzip der Zuchtwahl «Auslese der besten Körner aus der Aehrenmitte, jedoch mit steter Berücksichtigung der Erhaltung der Eigenschaft der Frühreife» an[3]). Nach dieser Annahme wird somit gearbeitet und man erzielt mit ihr, wie es scheint, Erfolge. Wie man bei Betrachtung der von anderen Autoren mitgetheilten Zahlenbilder der Fruchtstände, ebensowohl wie bei Durchsicht der weiter unten angeführten, bemerken kann, ist das auch gut erklärlich. Abgesehen davon, daß in manchen, allerdings selteneren Fällen die schwersten Körner thatsächlich im mittleren Drittel sitzen, erhält man in allen Fällen in der Mitte der Aehre sehr schwere Körner, ja wenn man den Begriff Mitte etwas weit faßt und, beispielsweise nach *Rümker*'s Vorschlag[4]), die beiden mittleren Viertel der Aehre als Mitte auffaßt, so erhält man selbst die größte Zahl der schwersten Körner der Aehre in dieser Mitte.

---

[1]) *Wilhelm*, Oesterreichisches landwirthschaftliches Wochenblatt, 1875, pag. 173.

[2]) Spezial-Katalog der Kollektiv-Ausstellung des allgemeinen schwedischen Saatzuchtvereins, 1890, Skånska, Lithographiska Aktiebolaget.

[3]) Die Kwassitzer Original-Hanna pedigree Saatgerste, Flugblatt 1890.

[4]) *Rümker*, Anleitung, pag. 62.

Neu aufgenommen wurden Untersuchungen über den Sitz der schwersten Körner durch *Liebscher* bei Square head-Weizen. Auf Grund der Untersuchung von zirka 80 Aehren dieser Weizensorte tritt er der älteren oben angeführten Ansicht entgegen und verweist darauf, daß die schwersten Körner nicht in der Aehrenmitte, sondern im unteren Theile der Aehre sich finden, indem bis zum 4. oder 6. Aehrchen von unten aus ein Steigen des Gewichtes, dann ein beständiges Fallen desselben sich zeigt. Er wendet sich auch gegen die Methode der verschärften Aehrenauslese, nach welcher die oberen und unteren Aehrentheile beseitigt werden sollen. Von weit größerer Bedeutung als dieser Befund *Liebscher's* ist jener, nach welchem bei Weizen die schwereren Aehren auch schwerere Körner enthalten. Mit der Erkenntniß dieser Thatsache ist für die Züchtung nach Korngewicht eine wesentliche Vereinfachung gegeben, indem es nicht nöthig ist, die schwersten Aehren und dann die schwersten Körner derselben auszuwählen, sondern die Absonderung der schwersten Körner aus dem Drusch bereits auch die schwersten Körner der schwersten Aehren ergiebt [1]).

Diese Untersuchungen haben *Rümker,* gleichwie mich, veranlaßt, der Anregung *Liebscher's* entsprechend den Gegenstand auch bei anderen Getreidearten zu untersuchen und liegen zwei Arbeiten *Rümker's* bereits vor. Die Befunde, welche in der ersteren derselben [2]) mitgetheilt werden, sind, in Kürze gefaßt, die folgenden: Bei Gerste (Imperial-, nackte, zweizeilige, Chevalier-, Himmels-, ungleichzeilige Frühlingsgerste) und Hafer (Nauener und dänischer) geben schwerere Fruchtstände schwerere Körner. Von Weizen (*Martin Amber* und *Spalding's* Prolific) waren annähernd gleich schwere Aehren untersucht worden. Bei den untersuchten Weizen- und Gerstensorten zeigten sich die schwereren Körner in der unteren Aehrenhälfte. Die regelmäßige Zeile der ungleichzeiligen Frühlingsgerste wies schwerere Körner auf als die beiden übrigen Zeilen. Innerhalb der Aehrchen der untersuchten Sorte steigt bei Weizen das Gewicht vom ersten zum zweiten Korn und fällt dann wieder, wobei meist das dritte Korn schon leichter ist als das erste. Bei Hafer wurde die größere Schwere der Außenkörner betont. Die Rispe wurde in drei Theile zer-

---

[1]) Deutsche landwirthschaftliche Presse, 1889, pag. 655.

[2]) Journal für Landwirthschaft 1890, Heft 2, pag. 309.

legt und es konnte kein Uebergewicht der Kornschwere der Körner des einen oder anderen dieser Theile festgestellt werden. Die Mittheilung über die angeführten Verhältnisse will *Rümker* als vorläufige betrachtet wissen.

Die vorhandene Litteratur, welche den Sitz der schwersten Körner in den Früchten der Hülsenfrüchte behandelt, ist in kürzester Zeit erledigt. Es handelt sich hier nur um einige von *Wollny* vorgenommene Untersuchungen[1]). Dieselben beziehen sich auf Erbse, Ackerbohne und weiße Lupine und ergeben als Regel ein Ansteigen des Gewichtes der Körner einer Hülse vom Stiel ab, bis zum zweiten oder dritten Korn und darauf folgendes Fallen gegen das Ende der Hülse hin. Unter den 9 vorgenommenen Wägungen ergaben sich zwei Ausnahmen von dieser Regel, bei welchen das erste Korn schwerer ist als die folgenden. Eine Untersuchung der Verhältnisse bei Hülsen, die verschiedene Mengen von Körnern enthalten, sowie eine Beleuchtung der Verhältnisse bei verschieden schweren Hülsen hat nicht stattgefunden.

Der Untersuchung der betreffenden Verhältnisse bei Hülsenfrüchten widme ich bereits seit 3 Jahren meine Aufmerksamkeit. Dagegen bin ich erst durch die erwähnte Publikation *Liebscher*'s veranlaßt worden, auch eine größere Menge von Fruchtständen der Getreidearten zu untersuchen. Die Ergebnisse der Untersuchung führe ich im Folgenden an, die Resultate, welche ich am Schlusse anfüge, beziehen sich mit Ausnahme von Weizen nur auf diese Untersuchungen. Resultate von Untersuchungen von Weizenähren wurden nicht angeführt, da solche Untersuchungen durch *Liebscher* und *Rümker* in großer Zahl vorgenommen worden sind und ein übereinstimmendes Resultat ergaben. Zu den Untersuchungen sind mit wenigen angeführten Ausnahmen viele Fruchtstände für die einzelnen Arten herangezogen worden, um die Regel möglichst sicher zu gewinnen. Kleinere Abweichungen von derselben finden sich, und selbst nicht allzu selten. Ich habe wiederholt Gelegenheit genommen, auf wichtigere, die mir untergekommen sind, aufmerksam zu machen[2]).

---

[1]) *Wollny*, Saat und Pflege, pag. 172.

[2]) Die betreffenden Zahlen wurden in Klammern gesetzt.

Der Sitz des schwersten Kornes in den Fruchtständen bei Getreide.

Die bei Getreide vorgenommenen Untersuchungen über den Sitz der schwersten Körner in den Fruchtständen wurden mit Sorten von Gerste, Spelz, Roggen, Hafer und Mais vorgenommen und zwar bei Gerste, Roggen und Hafer bei je mehreren, weiter unten namhaft gemachten Sorten, bei Mais und Spelz nur mit je einer Sorte. Bei jeder der untersuchten Sorten, die Maissorte ausgenommen, wurden mindestens drei Fruchtstände vollständig, das ist Korn für Korn auf einer analytischen Wage ausgewogen, bei Mais wurden die Körner nur in Serien von je 7—11 aufeinanderfolgenden Körnern gewogen[1]). Ohne weitere Details hier voranzusenden, gehe ich gleich auf das Untersuchungsergebniß ein, indem ich zuvörderst eine Reihe von Wägungen ganzer Fruchtstände mittheile und die aus diesen und weiteren Wägungen abzuleitenden Resultate am Schlusse zusammenfasse.

---

[1]) Die Benützung der neuen, auf Veranlassung *Rümker*'s und *v. Liebenberg*'s konstruirten Wagen würden die Arbeit ganz wesentlich erleichtert haben.

1. *Chevalier-Gerste.*

Konkave Seite. Korngewicht[1]). gr	Konkave Seite. Grannenlänge[1]). cm	Nr. Nr. des Aehrchens.	Konvexe Seite. Grannenlänge. cm	Konvexe Seite. Korngewicht. gr
		29	9,4	0,04
0,41	12,5	28		
		27	—	0,042
0,042	13,5	26		
		25	—	0,042
0,043	15,3	24		
		23	15,6	0,043
0,044	15,5	22		
		21	16,6	0,046
0,049	16,4	20		
		19	17,2	0,048
0,052	17,4	18		
		17	16,5	0,0522
0,0514	18,2	16		
		15	17,2	0,052
0,052	17,5	14		
		13	17,5	0,053
0,0532	18,6	12		
		11	17,1	0,054
0,056	19,5	10		
		9	18,2	0,057
0,061	18,2	8		
		7	17,3	0,054
0,054	16,5	6		
		5	16	0,0531
0,053	16,4	4		
		3	10,6	0,052
0,052	10,9	2		
		1	9,1	0,04
		Spindel.		

[1]) Alle Gewichte in den folgenden Tabellen sind in Gramm, alle Längen in Centimeter angegeben.

2. *Slovakische Gerste.*

Lange Aehre.				Kurze Aehre.			
		Konkave Seite.		Konkave Seite.			
Korngewicht.	Grannenlänge.	Grannenlänge.	Korngewicht.	Korngewicht.	Grannenlänge.	Grannenlänge.	Korngewicht.
		7	unbefruchtet	0,022	8,3		
unbefruchtet	4,5					8,2	0,042
		8,1	»	0,04	9		
»	9,2					7,8	0,039
		10,6	0,042	0,041	11,6		
0,042	10,9					8,5	0,042
		11,8	0,043	0,0409	9,5		
0,044	11					12,8	0,041
		12,8	0,049	0,043	13,6		
0,05	13,6					13,5	0,043
		14,7	0,049	0,044	13,3		
0,05	14,7					13,9	0,043
		15	0,051	0,0432	13,9		
0,05	16					14,6	0,05
		16,6	0,05	0,051	14,5		
0,051	16,6					14,6	0,052
		16,5	0,05	0,05	14,8		
0,051	17,6					14,5	0,05
		17,5	0,051	0,05	15,8		
0,054	18,5					15,6	0,05
		Ausfall		0,0512	16,9		
0,054	19,3					17,6	0,052
		16,2	0,053	0,054	17,3		
0,061	18,3					17,5	0,053
		17,3	0,053	0,0529	13,9		
0,06	18,6					15,8	0,05
		18,2	0,053	0,0504	14,2		
0,06	19,3					14,5	verkümmert
		17,9	0,039	0,038	14,2		
0,062	19,6					unbefruchtet	
		17,3	0,053		unbefruchtet		
0,052	16,6						
		17,6	0,052				
0,053	14,8						
		Ausfall					
0,043	13						
		14,2	0,033				
	unbefruchtet						
		unbefruchtet					

	Lange Aehre	Kurze Aehre
Länge von Beginn der Spindel bis zur obersten Grannenspitze	25,2	21,5
» der Spindel	13,2	11
Zahl der Körner	33	29

3. *Imperial-Gerste.*

Spindellänge.	Zahl der Aehrchen (Körner).	Dichte.	Schwere der Aehre.	Aehrenlänge.	Gesammtkörnergewicht
4,5	18	40,00	0,921	17,3	0,771
6,5	25	38,46	1,305	20	1,08
6,6	25	37,87	1,485	20,7	1,28
6,7	26	38,80	1,499	20,7	1,24
6,7	26	38,80	1,665	21,8	1,358
7,5	28	37,33	1,85	22,8	1,469
7,9	31	39,28	2,04	23	1,67.

Zwei Aehren unter den obigen ausgewogen:

Schwere Aehre.

0,037
　0,042
0,044
　0,046
0,048
　0,048
0,048
　0,049
0,05
　0,052
0,054
　0,055
0,056
　0,057
0,056
　0,056
0,058
　0,059
0,05
　0,058
0,06
　0,06
0,059
　0,06
0,057
　0,055
0,055
　0,045
leer
　leer

Leichte Aehre.

0,029
　0,032
0,034
　0,037
0,04
　0,042
0,042
　0,043
0,044
　0,045
0,046
　0,049
0,045
　0,049
0,05
　0,05
0,048
　0,049
0,05
　0,048
0,05
　0,047
0,045
　0,045
0,03
　leer
leer

	Aehren-gewicht.	Spindel-länge.	Körner-zahl.	Gesammt-Körner-gewicht.	Dichte.
Die schwerste Aehre unter 6 Aehren Chevalier-Gerste .	2,53	15,1	35	1,99	23,1
Die leichteste Aehre unter 6 Aehren Chevalier-Gerste .	1,48	11,5	28	1,28	24,3
Die schwerste Aehre unter 6 Aehren Gold Melon-Gerste	2,35	15,1	33	1,82	21,8
Die leichteste Aehre unter 6 Aehren Gold Melon-Gerste	2,15	12,9	31	1,7	24,0.

4. *Chevalier-Gerste*[1].

Aehren-schwere.	Aehren-länge.	Spindel-länge.	Zahl der Körner.	Gewicht der Körner.	Körner-dichte.
1,502	22,3	11,2	25	1,255	22,32
1,76	22,6	12,6	29	1,468	23,01
2,35	24,5	12,2	31	1,93	25,49
2,632	26,2	12,8	34	2,15	26,56.

5. *Zweizeilige nickende Landgerste.*

Aehren-gewicht.	Spindel-länge.	Körner-zahl.	Gesammt-körner-gewicht.	Dichte.	Länge des Grannen-bündels.
0,778	6,9	18	0,66	26,09	17,1
0,825	6,4	17	0,704	26,56	16,8
0,85	7,4	19	0,733	25,67	17,2
0,877	7,5	19 + 1 Ausfall	0,765	25,33	18,9.

6. *Slovakische Gerste.*

Spindel-länge.	Zahl der Aehrchen.	Dichte.	Schwere der Aehre.	Aehren-länge.
7,8	22	28,2	1,04	20,2
8,7	24	27,6	1,21	19,4
9,4	26	27,6	1,418	20,6
11,4	29	25,4	1,514	22,5
11,4	29	25,4	1,82	24,4
12,7	30	23,6	1,917	24,6.

7. *Gold Melon-Gerste.*

11,8	32	27,1	1,228	25
15	33	27,5	1,98	26,3
13,2	32	24,2	1,87	25,5
14,5	33	22,7	1,97	26,3
15,4	34	22,0	2,44	28.

[1]) In den folgenden 4 Tabellen enthält jede Zeile die Angaben für je eine Aehre.

8. *Sechszeilige Landgerste.*

	Leichte Aehre:		Schwere Aehre:
Gewicht der ganzen Aehre:	1,082	. . . .	2,181
Gewicht der Körner allein:	0,938	. . . .	1,847
Länge des Grannenbündels:	16,5	. . . .	18,6
Körnerzahl	24	. . . .	38.

Seitliche, Aehrchen.	mittlere, Aehrchen.	seitliche Aehrchen.	Seitliche, Aehrchen.	mittlere, Aehrchen.	seitliche Aehrchen.	Seitliche, Aehrchen.	mittlere, Aehrchen.	seitliche Aehrchen.	Seitliche, Aehrchen.	mittlere, Aehrchen.	seitliche Aehrchen.
0,02	0,04	0,022							—	0,045	—
			0,032	0,045	0,031	0,034	0,037	—			
0,037	0,047	0,035							0,038	0,041	—
			0,038	0,051	0,369	0,04	—	0,042			
0,036	0,052	0,037							0,045	0,054	0,038
			0,04	0,052	0,037	0,046	0,057	0,05			
0,052	0,053	0,04							0,051	0,056	0,047
			0,033	0,052	—	0,048	0,057	0,052			
—	0,041	—							0,048	0,056	0,051
			nicht entwickelt			0,052	0,063	0,054			
									0,051	0,061	0,053
						0,048	0,061	0,052			
									0,047	0,057	0,050
						0,042	0,058	0,048			
									—	—	0,0261
						—	—	—			

Die Grannen der Aehrchen in den mittleren Reihen sind länger als die Grannen der benachbarten seitlichen Aehrchen.

Grannenlänge der mittleren Aehrchen der obigen Aehren:

7				6,3
	10,6		7,4	
11,7				9
	11,6		9,1	
13,2				10
	14,4		12,4	
14				13
	13,2		13,4	
14,2				14
	—		15	
				14,9
			gebr.	
				14,8
			13,6	
				—
			—	

9. Sommerroggen.

	Schwere Aehre.	Leichte Aehre.
Aehrengewicht	1,655	0,477
Spindellänge	10,6	6,5
Körnerzahl	49	23
Aehrchenzahl	29	16
Gesammtkörnergewicht	1,147	0,342
Aehrchendichte	273	245
Körnerdichte	462	354.

Schwere Aehre.

	0,013		
		0,017	
	0,180		
		0,017	0,017
0,02	0,02		
		0,021	
0,022	0,019		
		0,021	0,022
0,023	0,021		
		0,022	0,023
	verkümmert		
		0,025	Korn verkümmert
0,024	0,023		
		0,022	0,024
0,029	0,022		
		0,024	0,029
0,026	0,02		
		0,02	0,027
0,032	0,023		
		0,027	0,027
0,028	0,026		
		0,019	
0,029	0,028		
		0,028	0,029
0,028	0,024		
		0,023	0,029
0,021	0,018		
		0,014	0,012
	0,009		

Leichte Aehre.

	0,005		
		0,012	
0,016	0,015		
		0,01	0,015
	0,021		
		0,02	0,018
0,016	0,004		
		0,016	0,018
0,019	0,018		
		0,02	
0,018	0,02		
		0,02	
	0,018		
		0,016	
	0,014		
		0,005	
	leer		
		leer	
	leer		

10. Correns Staudenroggen.

Wo nicht anders bemerkt, beide Körner eines Aehrchens zusammen gewogen.

(Nur 1 Korn.) 0,016
  0,041
0,045
  0,046
0,045
  0,048
0,047
  0,056
0,052
  0,057
0,055
  0,057
0,06
  0,061
0,06
  0,059
0,06
  0,065
0,06
  0,057
0,048
  0,055
(Beide Körner verkümmert.)
  0,025 (Nur 1 Korn ausgebildet.)
0,043
  0,032
(Nur 1 Korn ausgebildet.) 0,012

11. Winterroggen.

Aehren-schwere.	Aehren-länge.	Spindel-länge.	Aehrchen-zahl.	Körner-zahl.	Gewicht der Körner.	Aehren-dichte.	Körner-dichte.
1,052	10,8	10,2	27	46	0,752	25,0	42,5
1,24	9,8	9	22	38	0,971	22,44	38,77
1,38	11,1	10,3	27	47	1,58	24,32	42,34
1,72	11,7	11	29	51	1,335	26,36	46,36.

12. Weißer Spelz.

Je 1 Aehrchen mit sämmtlichen Spelzen gewogen.
In Klammer beigesetzt die Zahl der Körner im Aehrchen.

(1)	0,05		
		0,049	(1)
(1)	0,05		
		0,072	(1)
(1)	0,085		
		0,108	(2)
(1)	0,07		
		0,12	(2)
(2)	0,12		
		0,11	(2)
(2)	0,108		
		0,1	(2)
(1)	0,075		
		unentwickelt	
unentwickelt			
		»	»
»	»		
		»	»

13. Mais.

Kurzer Kolben: Oberes Ende.	Langer Kolben: Oberes Ende.

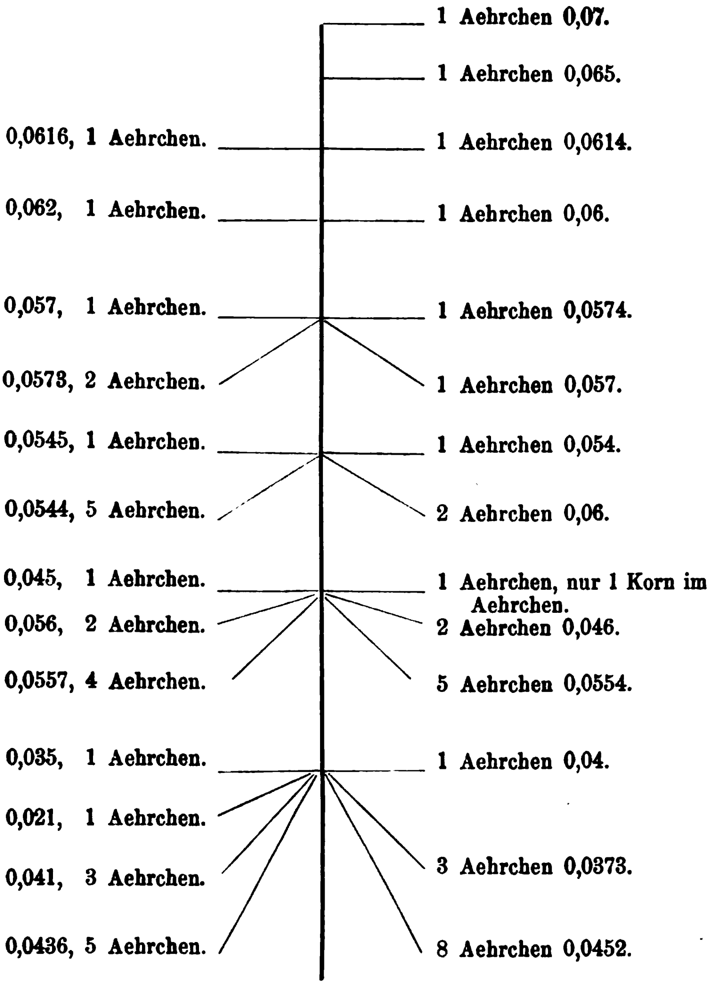
Aufeinanderfolgende Partieen Körner von je 16 Stück, mit Ausnahme der beiden obersten Partieen, welche weniger Körner umfassen.

Kurzer Kolben	Langer Kolben
1 Stück Rest: 0,04	Rest (6 Stück) 0,64
1,48	2,41
1,96	2,48
2	2,59
2	2,69
2,06	2,60
2,07	2,75
2,09	2,73
2,17	2,88
2,26	2,89
2,25	2,89
2,26	2,89
2,27	2,90
2,26	2,92
2,25	2,92
2,196	2,99
2,16	3,24
2,136	2,91
2,08	2,85
	2,99
	2,99
	2,95 schwerstes Korn
	2,94 des Kolbens: 0,194.
	2,48

Gewicht der Spindel . . . . . . : 4,75 : 8,15
Gewicht des Kolbens mit Körner: 41,9 : 71,9.

14. *Willkommhafer.*

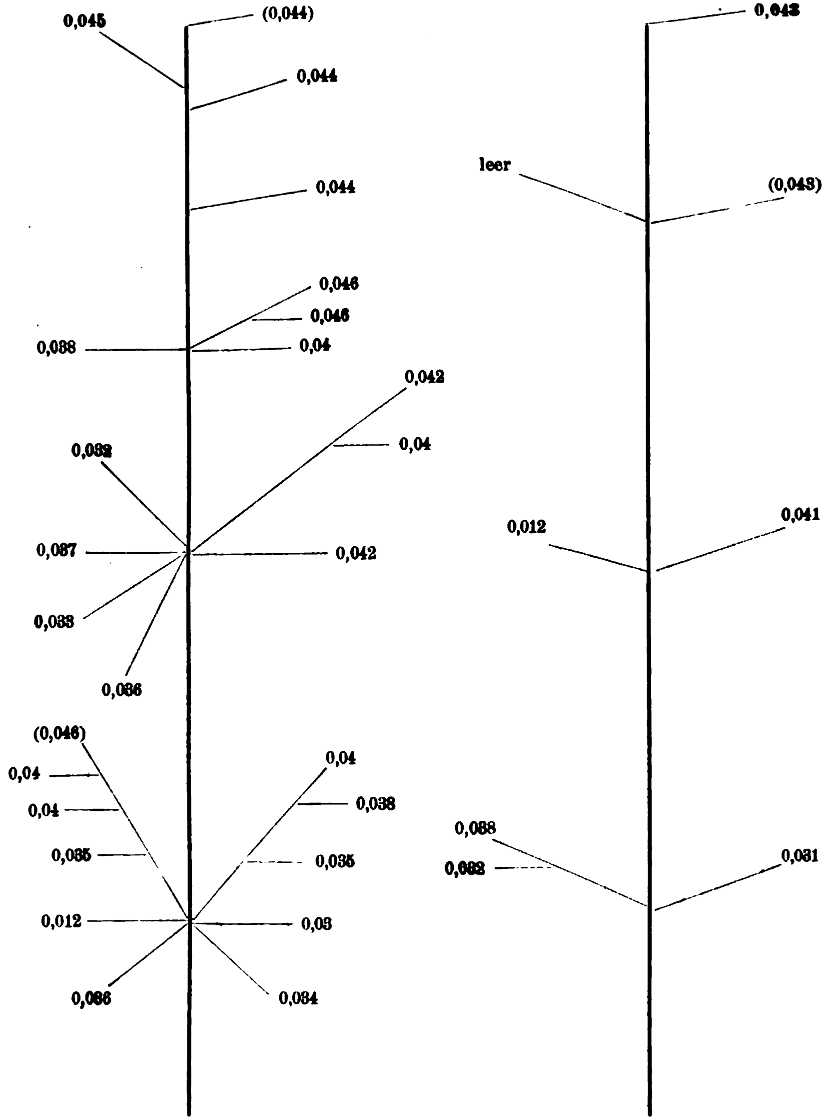
Gewicht für je ein zweikörniges Aehrchen angegeben. Ob direkter Befund oder aus den Befunden ermittelter Durchschnitt ist aus den Angaben über die Zahl der Aehrchen des betreffenden Astes zu ersehen.



Die einzelnen Rispenäste sind durch Striche angedeutet. Alle einer Etage angehörigen Aeste sind durch in einem Punkte der Spindel zusammentreffende Aeste gekennzeichnet.

15. Willkommhafer.

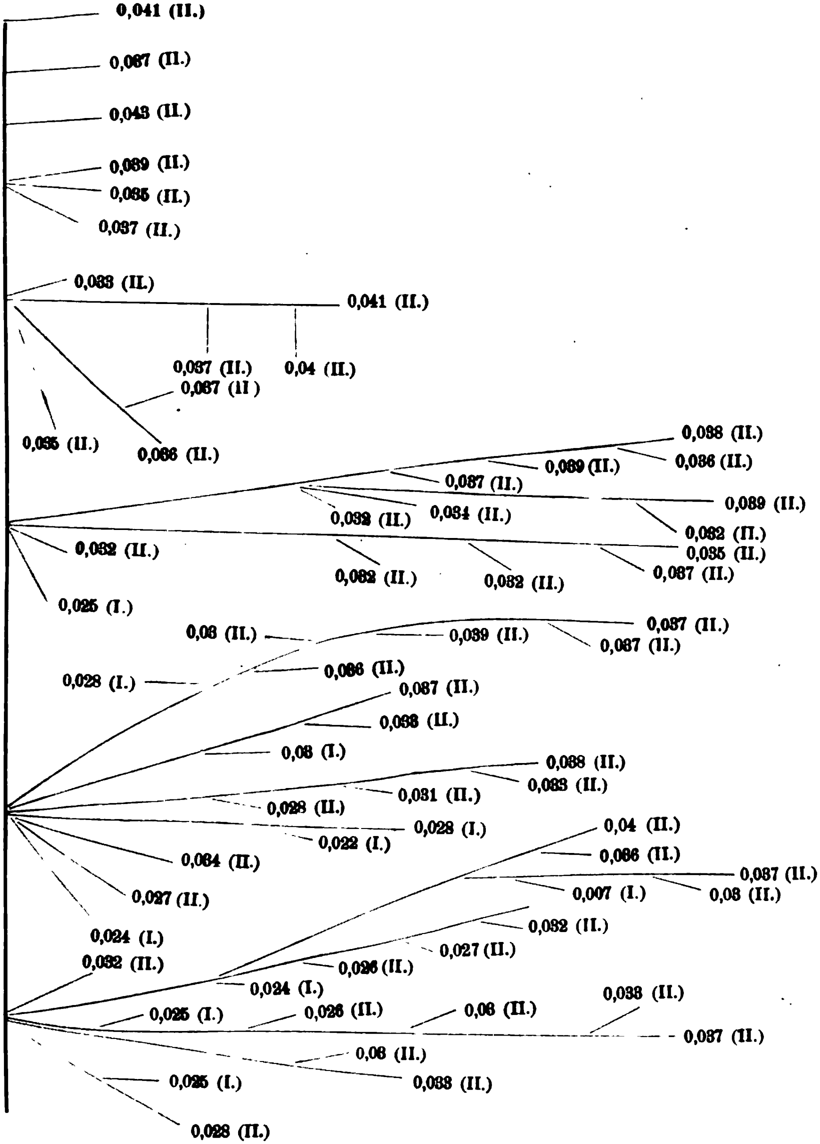
Schwere Rispe. Leichte Rispe (0,459 gr).



In jedem Aehrchen nur das schwerste Korn (Außenkorn) gewogen, da es sich um den Sitz der schwersten Körner handelt.

16. Nubischer schwarzer Fahnenhafer.

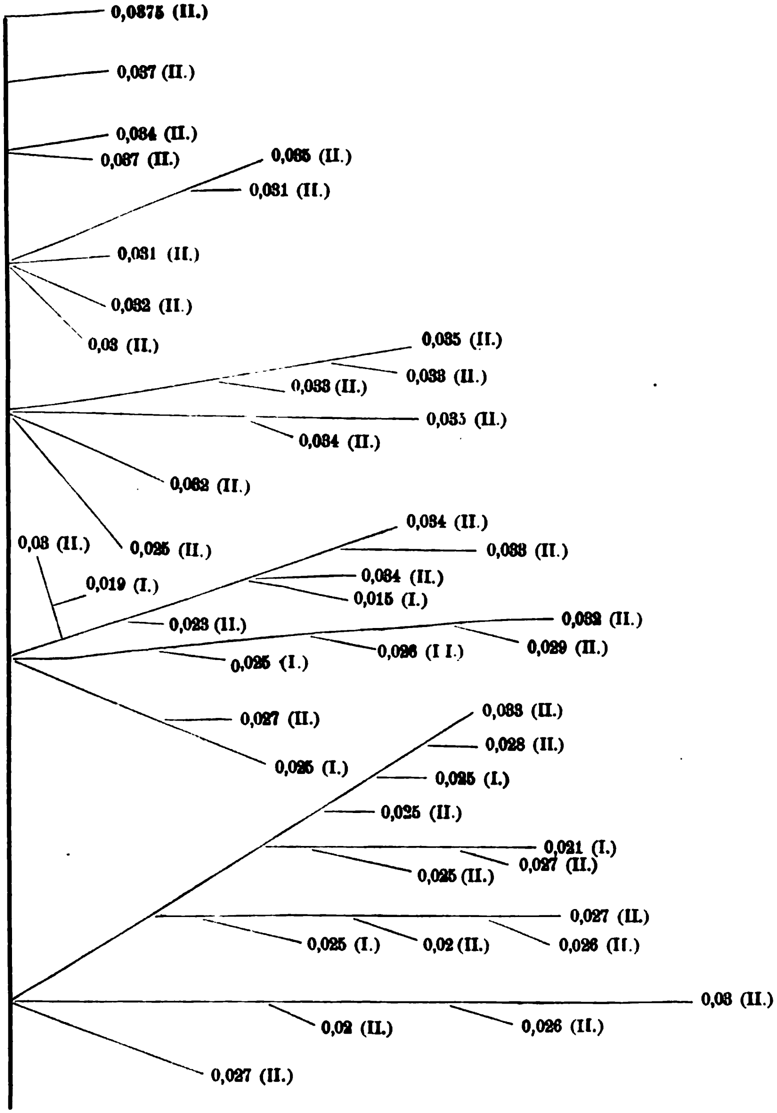
Schwere Rispe (3,44 gr).



In jedem Aehrchen nur das Außenkorn gewogen und durch beigesetzte römische Zahlen angezeigt, ob das Aehrchen ein- oder zweikörnig war.

16a. Nubischer schwarzer Fahnenhafer.

Leichte Rispe (2,48 g).



In jedem Aehrchen nur das Außenkorn gewogen und durch beigesetzte römische Zahlen angezeigt, ob das Aehrchen ein- oder zweikörnig war.

17. Willkommhafer.

Rispenlänge.	Gewicht der ganzen Rispe.	Schwerstes Korn der Rispe.
19,5	4,2	0,0615
25,7	6,5	0,0625.

18. Nubischer schwarzer Fahnenhafer.

Länge der Rispe.	Gewicht der Rispe.	Zahl der Aehrchen.	Zahl der Körner.	Gewicht sämmtlicher Körner.	Das oberste Korn wiegt.
11,2	0,725	19	24	0,065	0,022
17,3	2,48	44	80	1,76	0,037
19,7	3,44	65	120	2,975	0,041
21,7	4,06	75	135	3,4	0,042.

19. Willkommhafer.

8,6	0,459	8	16	0,445	0,043
12	1,7	26	46	1,47	0,044
13,3	1,802	23	51	1,64	0,045
16,5	1,89	28	55	1,69	0,047.

Allgemein ergiebt sich aus den Untersuchungen der folgende Satz: Das schwerste Korn eines schwereren Fruchtstandes ist schwerer als das schwerste Korn eines leichteren. Dies zeigte sich übereinstimmend bei Gerste, Roggen, Spelz, Weizen [1]), Mais und Hafer. Gewinnt man die schwersten Körner aus dem gesammten Erdrusch, so erhält man daher gleichzeitig auch die Körner aus den schwersten Fruchtständen.

Nicht so allgemein zutreffend sind die demnächst angeführten Verhältnisse:

Die schwereren Fruchtstände sind häufig die längeren und besitzen ebenso häufig eine längere Spindel. Dies trifft insbesondere im zweiten Theil bei Gerste, Roggen, Spelz und Hafer in vielen Fällen zu, bei Mais nicht. Bei dieser Pflanze sind unter voll besetzten die kleineren, sehr dicken Kolben sehr oft schwerer als längere dünne.

---

[1]) Bei Weizen nach den Untersuchungen in den zitirten Arbeiten von *Liebscher* und *Rümker*.

Die schwereren Fruchtstände besitzen in den meisten Fällen mehr Körner als leichtere. Auch hier findet man keine allgemeine Uebereinstimmung, wenn auch sehr viele Fruchtstände von Gerste, Roggen, Spelz, Hafer und Mais diese Erscheinung zeigen. *Neergard* verwendete bei der Selektion von Gerste, Roggen und Weizen nach der Auswahl nach Länge, Aehrenzahl und Körnerzahl, die Dichte des Besatzes der Spindel und führte, um einen sicheren Maßstab der Beurtheilung zu gewinnen, die Begriffe: Aehrchendichte (Zahl der Aehrchen auf 100 mm Spindellänge berechnet), und Körnerdichte (Zahl der Körner auf 100 mm Spindellänge berechnet), ein [1]). Eine gesetzmäßige Beziehung zwischen Aehrengewicht und Dichte war, wie ersichtlich, nicht sicher festzustellen, wenn auch in einer ziemlichen Anzahl von Fällen bei Gerste und Roggen, bei welchen diese Verhältnisse untersucht wurden, die Zahlen für die Dichte im umgekehrten Verhältniß zu jenen für das Aehrengewicht steigen und fallen. Wählt man daher die schwersten Aehren aus, so wählt man auch Aehren mit geringer Dichte, demnach mehr schütteren Besatz aus. Da zwischen Dichte und Stärke des Halmes eine von *Neergard* nachgewiesene, direkte Beziehung besteht [2]), so wären bei Auswahl der schwersten Körner auch Pflanzen mit schwächeren Halmen zu erwarten.

Von besonderen Verhältnissen, welche nur für die angeführten Arten Gültigkeit haben, ließ sich feststellen:

Bei Gerste, Roggen, Spelz, Weizen und Mais — nicht aber bei Hafer — findet ein Ansteigen des Gewichtes der Körner der einzelnen Aehrchen vom unteren Ende der Aehre bis in die ungefähre Mitte des unteren Drittels oder seltener (und zwar bei kümmerlichen Aehren) bis zur Längemitte der Spindel statt. Vom schwersten Korn ab fällt das Korngewicht mehr oder weniger regelmäßig bis an das Ende der Spindel.

Die Körner der konkaven Seite der Aehren, der nickenden zweizeiligen Gerste sind schwerer, als jene der konvexen Seite. Ein Zusammenhang zwischen Grannenlänge und Kornschwere innerhalb der einzelnen Aehre bei Gerste ist nicht sicher festzustellen, das Ansteigen und

[1]) Spezial-Katalog der Kollektiv-Ausstellung des «Allgemeinen schwedischen Saat-Zucht-Vereins Svalöf», 1890, Malmö, pag. 31.

[2]) Spezial-Katalog des schwedischen Saat-Zucht-Vereins, pag. 38.

Fallen der Grannenlänge ist aber in ähnlicher Weise, wie jenes der Kornschwere, über die Spindel vertheilt, die größte Grannenlänge tritt aber meist oberhalb der Stelle ein, an welcher das schwerste Korn sitzt.

Bei der sechszeiligen Gerste ist in jeder Aehrchenlage das Korn des mittleren Aehrchens das schwerste, und ebenso stehen die längsten Grannen bei den Aehrchen der mittleren Reihe.

Die Haferrispe zeigt sowohl in der ganzen Rispe, als auch innerhalb eines Rispenastes ein mehr oder minder gleichmäßiges Ansteigen des Gewichtes der schwersten Körner der Aehrchen, so daß an der Spitze der Rispe sich die schwersten Körner des ganzen Fruchtstandes finden. Im einzelnen Aehrchen ist immer das äußere Korn (Außenkorn *Atterberg*'s) das schwerste.

Der Sitz des schwersten Kornes in den Hülsen der Hülsenfrüchte.

In gleicher Weise, wie bei Getreide, werden auch hier zunächst Zahlenbilder vorangeschickt und die Ergebnisse der Untersuchung nachgestellt. Sowohl bei Getreide, als auch bei Hülsenfrüchten zeigt es sich, daß die Gesetzmäßigkeit um so deutlicher hervortritt, je vollkommener die Pflanzen entwickelt sind, welche untersucht werden, daß sich dagegen Ausnahmen am ehesten bei kranken oder schwach entwickelten Exemplaren von Fruchtständen respektive Früchten finden.

1. Phaseolus vulgaris.

a. Weiße Dattel- oder Nieren-Fisole.

Je 1 Hülse.

Bei einer	2körnigen,	3körnigen,	4körnigen,	5körnigen,	6körnigen Hülse.
	gr	gr	gr	gr	gr [1])
Erstes Korn vom Stiel	**0,8**	0,77	0,9	0,92	0,69
Zweites » » »	0,78	0,9	0,92	0,99	**0,92**
Drittes » » »		**0,99**	**0,97**	1,07	0,88
Viertes » » »			0,85	**1,07**	0,88
Fünftes » » »				0,99	0,82
Sechstes » » »					0,77.

[1]) Alle Zahlen in Gramm.

b. Haricot coco blanc.

Je 1 Hülse.

Bei einer	3körnigen,	4körnigen,	5körnigen,	6körnigen Hülse.
	gr	gr	gr	gr [1])
Erstes Korn vom Stiel	0,34	0,49	0,47	0,32
Zweites » » »	**0,351**	0,52	0,46	0,34
Drittes » » »	0,33	**0,56**	0,49	0,34
Viertes » » »		0,478	**0,492**	0,338
Fünftes » » »			0,48	**0,35**
Sechstes » » »				0,31.

Je 1 Hülse.

Bei einer	3körnigen,	4körnigen,	5körnigen,	6körnigen Hülse.
Erstes Korn vom Stiel	0,32	0,332	0,398	0,38
Zweites » » »	**0,331**	0,34	0,403	0,402
Drittes » » »	0,311	0,35	**0,442**	0,41
Viertes » » »		**0,37**	0,423	0,411
Fünftes » » »			0,43	**0,412**
Sechstes » » »				0,402.

c. Schlachtschwert.

Je 3 Hülsen.

Von 3 Stück	3körnigen,	4körnigen,	6körnigen Hülsen.
Die ersten Körner vom Stiel	0,95	1,12	1,00
» zweiten » » »	**1,19**	**1,3**	**1,09**
» dritten » » »	1,25	1,28	1,08
» vierten » » »		1,18	1,05
» fünften » » »			1,04
» sechsten » » »			0,80.

d. Große Stockerauer Fisole.

Je 20 Hülsen.

Von 20 Stück	3körnigen,	6körnigen Hülsen.
Die ersten Körner vom Stiel	4,72	3,5
» zweiten » » »	**5,28**	4,55
» dritten » » »	4,76	4,75
» vierten » » »		4,70
» fünften » » »		**4,95**
» sechsten » » »		3,70.

[1]) Alle Zahlen in Gramm.

e. Neger-Fisole.

3körnige Hülsen.

Hülse wiegt:	1.	2.	3. Korn vom Stiel.
0,819	0,2	**0,217**	0,214
0,86	**0,231**	0,223	0,187
1,055	0,242	0,245	**0,27**
1,149	**0,29**	0,287	0,279
1,155	**0,292**	**0,292**	0,26
1,36	**0,31**	0,27 [1])	0,295.

f. 5körnige Hülsen.

Hülse wiegt:	1.	2.	3.	4.	5. Korn vom Stiel.
1,637	0,209	0,215	**0,22**	0,21	0,207
1,69	0,23	0,236	**0,245**	0,235	0,223
1,74	0,262	0,282	**0,292**	0,263	verkümm. Korn
1,873	0,269	0,287	**0,309**	0,304	0,26.

2. *Phaseolus multiflorus.*

Feuerbohne (arabische, bunte).

Ganze Hülse wiegt:	1.	2.	3. Korn vom Stiele wiegt:
1,398	0,97		
2,17	1,6		
3,4	1,34	**1,39**	
3,57	**1,553**	1,35	
4,13	1,662	**1,668**	
2,98	0,77	0,772	**0,83**
3,66	**0,98**	0,95	0,94
4,77	(**1,38**)	1,055	1,308
4,93	1,3	**1,377**	1,368.

3. *Pisum sativum.*

a. Victoria-Erbse.

Hülsen mit verschiedener Körnerzahl.

Gewicht der ganzen Hülse:	1.	2.	3.	Gewicht des 4.	5.	6.	7.	8. Korns vom Stiel ab.
1,3	0,34	0,35	**0,36**					
2,01	0,42	**0,43**	0,36	0,4				
3,09	0,522	0,55	**0,59**	0,43	0,5			
3,62	0,34	0,4	0,39	**0,42**	**0,42**	0,38	0,38	0,4.

---

[1]) Sehr kümmerlich ausgebildetes Korn.

6körnige Hülsen.

Gewicht der ganzen Hülse:	Gewicht des 1.	2.	3.	4.	5.	6. Korns vom Stiel ab.
1,85	0,16	0,18	0,21	0,26	0,25	0,26
2,38	0,275	0,32	0,43	0,37	0,33	0,25
2,85	0,28	0,46	0,49	0,5	0,43	0,335
3,43	0,45	0,048	0,52	0,51	0,49	0,45.

b. Stockerauer Erbse.

I. Probe.

100 Stück	Körner	aus	2körnigen	Hülsen	18,08	gr
»	»	»	» 3 »	»	12,5	»
»	»	»	» 5 »	»	14,5	»
»	»	»	» 6 u. 7 »	»	13,79	».

II. Probe.

100 Stück	Körner	aus	3körnigen	Hülsen	15,3	gr
»	»	»	» 5 »	»	14,12	»
»	»	»	» 6 u. 7 »	»	13,09	».

c. Viktoria-Erbse.

Gewicht des schwersten Kornes.

	In leichten 1körnigen,	2körnigen,	3körnigen,	4körnigen,	In schweren 1körnigen,	2körnigen,	3körnigen,	4körnigen Hülsen.
Hülse wiegt:	0,6	0,86	1,1	1,75	0,75	1,27	1,51	2,08
Schwerstes Korn derselben wiegt:	0,541	0,35	0,35	0,43	0,55	0,55	0,63	0,62.

d. 1 Pflanze Viktoria-Erbse.

	1körnige Hülsen. Stück.	Gewicht.	2körnige Hülsen. Stück.	Gewicht.	3körnige Hülsen. Stück.	Gewicht.	4körnige Hülsen. Stück.	Gewicht.
Erster Seitentrieb von unten					1	1,3		
Zweiter » » »			1	0,86				
Dritter » » »					1	0,8		
Vierter » » »					1	1,1	1	1,75
Fünfter » » »	1	0,75	1	0,86	1	1,35	1	2,08
Spitze	1	0,6	2	{ 1,27 0,97	2	{ 1,54 1,51	1	1,9.

Erbsen.

	1körnige.	2körnige.	3körnige.	4körnige.	5körnige.
Unter 10 Stück schweren Hülsen befanden sich Stück			1	4	5
» » » leichten » » » »	2	4	3	1	

4. *Lens esculenta.*

a. Puy-Linse.

Leichte Hülsen:			Schwere Hülsen:		
Ganze Hülse wiegt:	1. Korn bei Stiel.	2. Korn vom Stiel.	Ganze Hülse wiegt:	1. Korn bei Stiel.	2. Korn vom Stiel.
0,0305	0,022		0,064	0,025	0,025
0,038	0,027		0,065	0,027	0,026
0,039	0,019	0,011	0,072	0,025	(0,037)
0,055	0,023	0,022	0,074	0,028	0,029
			0,078	0,029	0,030
			0,082	0,033	0,033.

b. Heller-Linse.

Gewicht der ganzen Hülse.	Gewicht des 1.,	des 2. Kornes vom Stiel.
Einkörnige.		
0,062	0,044	
0,064	0,046	
0,08	0,062	
0,088	0,069	
0,104	0,071	
Zweikörnige.		
0,09	0,033	0,043
0,118	0,051	0,047
0,123	0,052	0,049
0,128	0,052	0,054
0,132	0,056	0,058
0,163	0,06	0,065.

5. *Vicia Faba major et minor.*

a. Kleine und große Ackerbohne.

Violette sizilianische.

Einkörnige.

Schwere Hülsen:		Leichte Hülsen:	
Gewicht der ganzen Hülse.	Korn allein.	Gewicht der ganzen Hülse.	Korn allein.
3,52	2,22	2,112	1,51
2,74	2,005	1,347	1,067.

Zweikörnige.

Gewicht der ganzen Hülse.	Gewicht des 1.,	des 2. Kornes.	Gewicht der ganzen Hülse.	Gewicht des 1.,	des 2. Kornes.
4,345	1,68	1,77	3,115	(1,335)	1,01
4,12	1,34	1,62	2,757	0,74	1,395.

Dreikörnige.

Gewicht der ganzen Hülse.	Gewicht des 1.,	2.,	3. Kornes.	Gewicht der ganzen Hülse.	Gewicht des 1.,	2.,	3. Kornes.
4,845	1,361	1,313	1,213	3,497	1,003	0,972	0,897.

b. Niedere Mazagan-Bohne.

Je 4 Körner zusammen gewogen.

	Aus 1körnigen,	2körnigen,	3körnigen Hülsen.
1. Bei Stiel	2,29	2,18	2,01
2. Vom »		2,42	2,37
3. » »			2,47.

c. Rothe Windsor Bohne.

Je 6 Körner zusammen gewogen

	Aus 1körnigen,	2körnigen,	3körnigen Hülsen.
1. Bei Stiel	10,68	9,75	2,61
2. Vom »		10,155	8,4
3. » »			8,1.

d. Feverole de Lorraine.

Je 4 Stück zusammen gewogen.

	Aus 1körnigen,	2-,	3-,	4körnigen Hülsen.
1. Bei Stiel . . .	0,91 [1])	1,37	1,02	1,37
2. Vom » . . .		1,37	1,04	1,47
3. » » . . .			0,96	1,4
4. » » . . .				1,3.

e. Feverole de Picardie.

Je 6 Stück zusammen gewogen.

	Aus 1körnigen,	2körnigen,	3körnigen Hülsen.
1. Bei Stiel	6,36	6,06	5,1
2. Vom »		7,0	5,5
3. » »			5,5.

---

[1]) In einem Fall auch 4 Stück Körner aus einkörnigen Hülsen 1,46.

f. Rothe Windsor-Bohne.

Je 6 Hülsen zusammen angeführt.

6 schwerste Hülsen wiegen zusammen 27 , darunter befinden sich 4 Stück 2 körnige, 2 Stück 3 körnige Hülsen.

6 leichtere » » » 16,9, darunter befinden sich 5 Stück 1 körnige, 1 Stück 2 körnige Hülsen.

6 ganz leichte » » » 12,1, darunter befinden sich 6 Stück 1 körnige Hülsen.

6. *Lupinus albus.*

Leichte Hülsen: Gewicht der ganzen Hülse	Gewicht des 1.,	2.,	3. Korns vom Stiel ab.	Schwere Hülsen: Gewicht der ganzen Hülse.	Gewicht des 1.,	2.,	3.,	4.,	5.,	6. Korns vom Stiel ab.
0,61	0,312			2,12	0,32	0,365	**0,374**	0,327		
0,63	0,355			2,3	0,33	0,383	**0,39**	0,36		
1,01	0,323	**0,337**		2,402	**0,45**	0,405	0,39	0,36		
1,37	0,32	**0,321**	0,248	2,71	0,27	0,362	**0,362**	0,341	0,328	
1,46	0,325	**0,41**	0,26	2,725	0,358	0,37	0,375	**0,391**	0,376	
				2,92	0,261	0,36	(**0,372**)	0,368	0,335	
				3,28	0,422	0,443	**0,461**	0,458	0,425	
				2,848	0,301	0,358	0,359	**0,367**	0,354	0,31
				2,95	0,328	0,348	0,361	0,364	**0,368**	0,343.

Lupinus albus.

Je 1 Hülse.

	Aus 4 körniger,	5 körniger,	6 körniger Hülse.
1. Korn vom Stiel . .	0,42	0,32	0,31
2. » » » . .	0,456	0,362	0,434
3. » » » . .	**0,478**	0,367	0,432
4. » » » . .	0,436	**0,37**	**0,448**
5. » » » . .		0,348	0,443
6. » » » . .			0,404.

Je eine 5 körnige Hülse.

	Leichte Hülsen:	Schwere Hülsen:
1. Korn vom Stiel	0,296	0,32
2. » » »	0,293	0,362
3. » » »	**0,346**	0,367
4. » » »	0,342	**0,37**
5. » » »	0,314	0,348.

Je 5 Körner der Hauptaxe — Je 5 Körner der Nebenaxe

wiegen im Durchschnitt:

2,59 — 1,73.

7. *Lupinus angustifolius.*

Ganze Hülse wiegt:	1. Korn,	2. Korn,	3. Korn,	4. Korn,	5. Korn vom Stiel ab wiegt:
0,393	0,099	**0,1**			
0,468	0,082	0,05[1])	**0,09**		
0,483	0,08	**0,093**	0,081		
0,581	0,11	**0,113**	0,104		
0,582	0,077	0,082	**0,09**	0,085	
0,73	0,096	**0,11**	0,105	0,109	
0,74	0,108	**0,115**	0,113	0,105	
0,76	0,09	**(0,099)**	0,095	0,092	
0,842	0,128	**0,128**	0,126	0,118	
0,79	0,091	0,093	0,091	**0,095**	0,069.

8. *Lathyrus sativus.*

I. Partie.

Durchschnitt von 5 Hülsenwägungen.

	Leichte Hülsen:			Schwere Hülsen:		
	1 körnige,	2 körnige, Hülsen.	3 körnige	1 körnige,	2 körnige, Hülsen.	3 körnige
Hülsengewicht	0,378	0,65	0,956	0,608	1,058	1,32
1. Korn vom Stiel	**0,288**	0,262	0,258	**0,418**	**0,398**	0,342
2. » » »		**0,264**	**0,261**		0,388	**0,362**
3. » » »			0,242			0,344.

II. Partie.

Durchschnitt aus 5 Hülsenwägungen.

	Leichte Hülsen:			Schwere Hülsen:		
	1 körnige,	2 körnige, Hülsen.	3 körnige	1 körnige,	2 körnige, Hülsen.	3 körnige
Hülsengewicht	0,56	1,15	1,295	1,074	1,392	1,75
1. Korn vom Stiel	0,294	0,314	0,165	0,4	0,34	0,31
2. » » »	**0,298**	0,306	0,255	**0,42**	0,378	0,37
3. » » »		**0,318**	**0,285**		**0,396**	**0,39**
4. » » »			0,28			0,38.

Lathyrus sativus.

100 Stück Körner

aus 1 körnigen Hülsen	wiegen	. . . .	38,43
» 2 » »	1. vom Stiel wiegen	. . . . . .	37
	2. » » »	. . . . . .	37,25
» 3 » »	1. » » »	. . . . . .	34
	2. » » »	. . . . . .	35,36
	3. » » »	. . . . . .	34,10
» 4 » »	alle zusammen[2])	. . . .	34.

[1]) Verkümmert.

[2]) Vierkörnige Hülsen sind sehr selten. Die Zahl derselben reichte nicht aus, um 100 Körner abwiegen zu können.

Lathyrus sativus.

	1 körnige.	2 körnige.	3 körnige.	4 körnige.	5 körnige.
Unter 10 Stück schweren Hülsen befanden sich Stück				8	2
» » » leichten » » » »		4	6.		

9. *Cicer arietinum.*

Leichte Hülsen:			Schwere Hülsen:		
Hülse wiegt:	1. Korn,	2. Korn vom Stiel.	Hülse wiegt:	1. Korn,	2. Korn vom Stiel
0,25	0,205		0,512	0,262	0,14
0,387	0,302		0,609	0,467	—
0,37	0,292		0,7	0,285	0,28
0,435	0,352		0,743	0,39	0,25
0,404	0,31		0,762	(0,325)	0,297.
0,502	0,395				
0,506	0,402				

Cicer arietinum.

100 Körner.

	I. Partie.	II. Partie.
Aus einkörnigen Hülsen	22,7	33,8
» zweikörnigen »	18,9	30,2
» dreikörnigen[1]) »	17,3	29,3.

10. *Ervum Ervilia.*

Je 100 Stück von dreikörnigen Hülsen.

100 Stück erste bei Stiel	3,90 gr
» » zweite vom »	4,10 »
» » dritte » »	4 ».

Je 100 Stück von vierkörnigen Hülsen.

100 Stück erste bei Stiel	3,775 gr
» » zweite vom »	4,025 »
» » dritte » »	4,15 »
» » vierte » »	3,72 ».

---

[1]) Für dreikörnige Hülsen berechnet, da die Zahl derselben zu gering war.

Von Gültigkeit für sämmtliche untersuchte Hülsenfrüchte zeigt sich der folgende Satz, für welchen wir bei Getreide ein Analogon gefunden haben, der jedoch hier wesentlich eingeschränkter gilt, indem er nicht für Hülsen allgemein Gültigkeit besitzt, sondern nur für Hülsen mit gleicher Körnerzahl (gleichzähligen Hülsen): Unter gleichzähligen Hülsen befindet sich das schwerste Korn in der schwersten Hülse. Von anderen Verhältnissen, die zwar auch bei sämmtlichen Hülsenfrüchten beobachtet werden können, aber auch Ausnahmen aufweisen, sind die folgenden anzuführen:

Das schwerste Korn unter verschiedenzähligen Hülsen sitzt sehr häufig in einkörnigen Hülsen, dagegen fast nie in jenen Hülsen, welche die größte Zahl Körner aufweisen, die überhaupt bei der betreffenden Sorte vorkommt.

In der einzelnen Hülse ist der Sitz des schwersten Kornes wechselnd, es findet sich sowohl am Stielansatz, als auch weiter von diesem weg. Letzterer Fall, welcher meist mit einem Ansteigen des Korngewichtes vom Stielende zum schwersten Korn und einem Fallen des Korngewichtes gegen das Ende der Hülse zu verbunden ist, wird sehr häufig angetroffen. Am seltensten findet sich der Sitz des schwersten Kornes am äußeren Ende der Hülse.

Wählt man bei einer Sorte schwere und leichte Hülsen aus, so erhält man in den schwereren Hülsen auch mit wenigen Ausnahmen die Hülsen mit der größeren Zahl Körner.

Anhang.

Die Ursache des höheren Werthes der schweren Samen als Saatgut[1].

Die in der Ueberschrift angedeutete Frage zu lösen, wurde gelegentlich dieser Arbeit nicht versucht, wenngleich auch mehrfache Ver-

[1]) Auf die Arbeiten von *Rümker* und *Clausen* (Journal f. Landwirthschaft. 1891), welche sich auf diese Frage beziehen und sich auf Versuche mit Getreide stützen, kann nur hier verwiesen werden, da dieselben erst nach Abschluß des Manuscriptes eingesehen wurden.

suche angestellt wurden, welche zur Beantwortung derselben mitbenützt werden können. Dahin ist zunächst zu rechnen ein Versuch mit der großen Ackerbohne (Sorte: violette sizilianische). Bei demselben wurden in versenkten Töpfen mit gleichem Wachsraum (329 □m pro Pflanze, 28 cm Tiefe der Töpfe) und gleichen übrigen Verhältnissen (1891) versuchsweise angebaut:

Ein Korn aus einer Hülse mit drei Körnern (N) und ein solches aus einer Hülse mit einem Korn (K).

Ein Korn aus einer leichten, zweikörnigen Hülse (P) und ein solches (M) aus einer schweren, zweikörnigen.

Ein weiteres Korn aus einer leichten, einkörnigen Hülse (L) mit einem solchen (K) aus einer schweren, einkörnigen.

Drei Körner — je eines — aus einer ein- (L), zwei- (M) und dreikörnigen (N) Hülse, und endlich:

Ein schweres Korn (Q) aus einer einkörnigen Hülse mit einem leichten Korn (R) aus einer zweikörnigen Hülse.

Der Anbau erfolgte in gleicher Tiefe, nachdem die Töpfe bereits mehrere Wochen vorher mit sorgfältig gemischter Erde gefüllt worden waren und wurde während des Wachsthums der Pflanzen, abgesehen von der Entfernung der Keimpflänzchen von Unkraut, keinerlei Eingriff vorgenommen. Die am 1. August vorgenommene Ernte ergab mit Bezug auf Körner die folgenden Resultate:

Bezeichnung und Beschreibung des gelegten Kornes:	Gewicht der Gesammtkörnerernte in gr	1 Korn wog im Durchschnitt gr	Zahl der Körner.	Zahl der einkörnigen Hülsen	Zahl der zweikörnigen Hülsen	Zahl der dreikörnigen Hülsen
K wiegt 2,22 gr und stammt aus einer einkörnigen Hülse, welche 3,52 gr wiegt	5,78	1,926	3	3		
L wiegt 1,51 und stammt aus einer einkörnigen Hülse, welche 2,112 gr wiegt	5,66	1,132	5	3	1	
M wiegt 1,395 und stammt aus einer zweikörnigen Hülse, welche 2,757 gr wiegt	5,15	0,735	7	2	1	1
N wiegt 1,361 gr und stammt aus einer dreikörnigen Hülse, welche 4,845 gr wiegt	3,24	0,81	4	2	1	

Bezeichnung und Beschreibung des gelegten Kornes.	Gewicht der Gesammtkörnerernte in gr	1 Korn wog im Durchschnitt gr	Zahl der Körner.	Zahl der einkörnigen Hülsen.	Zahl der zweikörnigen Hülsen.	Zahl der dreikörnigen Hülsen.
P wiegt 1,3 gr und stammt aus einer zweikörnigen Hülse, welche 4,12 gr wiegt	3,3	1,1	3			1
Q wiegt 2,46 gr und stammt aus einer einkörnigen Hülse	10,34	1,292	8	1	2	1
R wiegt 1,327 gr und stammt aus einer zweikörnigen Hülse	3,48	0,696	5	1	1	

Deutlich wird der Einfluß der Kornschwere wahrnehmbar, indem fast durchaus (nur Korn N macht eine Ausnahme) parallel mit dem Gewicht des angebauten Kornes auch das Gewicht der Ernte steigt; dagegen kommt die Schwere der Hülsen bei diesen Versuche in keiner Weise in der Größe der Ernte zum Ausdruck. Wenn das Korn schwerer ist, kann es selbst aus einer wesentlich leichteren Hülse stammen und dennoch wird der Ertrag ein größerer sein (so bei P und M). Ebenso ist ein Einfluß der Vielkörnigkeit nicht bemerkbar.

Ein ähnliches Resultat wurde auch mit Linsen (Sorte: Puy) erzielt. Dagegen wurden bei Gerste (Gold-Melon-Gerste) Resultate erzielt, welche gar keine Tendenz erkennen lassen. Ursache davon mag der Umstand sein, daß auf das Drahtnetz noch wegen Vogelfraß einseitig eine Gazehülle aufgelegt werden mußte, wodurch das Ausreifen der Pflanzen ungleichmäßig beeinflußt wurde.

Da es zunächst nicht festgestellt ist, daß die Vielkörnigkeit der Hülsen gegenüber dem Gewichte des einzelnen Kornes ein unmaßgebendes Moment für den Ertrag ist, wurden auch Versuche angestellt, welche darthun sollten, ob die Vielkörnigkeit vererbbar ist und ob sie direkt ohne Beachtung der Kornschwere einen Einfluß auf den Ertrag nimmt. Es wurde zu diesem Zwecke ohne Beachtung des Gewichtes der einzelnen Körner auf gleich großen Flächen (Beetversuche) je eine bestimmte Zahl Körner aus verschiedenzähligen Hülsen bei Lathyrus sativus, Phaseolus vulgaris und Cicer arietinum angebaut.

Lathyrus sativus. (Wachsraum: 416 □cm Bodenfläche pro Pflanze.)

Angebaut wurden:	6 Stück Samen von 1kör-nigen Hülsen.	6 Stück Samen von 2körnigen Hülsen.		6 Stück Samen von 3körnigen Hülsen.			6 Stück Samen von 4körnigen Hülsen.
		1.	2.	1.	2.	3.	
		Körn. v. Stiel ab.		Körner vom Stiel ab.			
In der Ernte waren enthalten Körner von 1körnigen Hülsen	44	18	54	43	41	29	Nicht gezählt.
2körnigen »	92	84	64	52	70	98	»
3körnigen »	48	36	12	29	25	35	»
4körnigen »	—	—	—	—	—	1	3
Gesammtertrag an Körnern in Gramm:	126	103,8	79,8	86,1	85,7	95,4	101,12

Phaseolus vulgaris (Buschbohne). (Wachsraum: 625 □cm Bodenfläche pro Pflanze.)

Angebaut wurden:	4 Stück Samen von 2 körnigen Hülsen.	4 Stück Samen von 4körnigen Hülsen.	4 Stück Samen von 6körnigen Hülsen.
In der Ernte waren enthalten Stück Körner von 1körnigen Hülsen	5	6	7
2körnigen »	19	9	13
3körnigen »	15	12	15
4körnigen »	3	5	9
5körnigen »	1	—	2
Gesammtertrag an Körnern in Gramm:	37,39	20,85	31,15

Cicer arietinum. (Wachsraum: 416 □cm Bodenfläche pro Pflanze.)

Angebaut wurden:	6 Körner von 1körnigen Hülsen.	6 Körner von 2körnigen Hülsen.	6 Körner von 3körnigen Hülsen.
In der Ernte waren enthalten Stück Samen von 1körnigen Hülsen	293	141	110
2körnigen »	130	211	320
3körnigen »	6	4	36
Gesammtertrag an Körnern in Gramm:	141,85	84,27	91,86

Bei Cicer wurde der Versuch ein Jahr weiter fortgeführt, indem Körner von solchen Hülsen weitergebaut wurden, bei welchen schon das Jahr vorher eine Auswahl nach der Zahl der Körner pro Hülse stattgefunden hatte. Auch in diesem Falle gaben einkörnige Hülsen die

höchsten Erträge, dagegen zeigte sich auch bei diesem Weiterbau mit bestimmter Auswahl kein hervortretender Erfolg in der Richtung der Auswahl, indem beispielsweise Körner aus einkörnigen Hülsen nicht die meiste Zahl einkörniger Hülsen, Körner aus dreikörnigen Hülsen nicht gerade die größte Zahl dreikörniger Hülsen gaben.

Auch diese Resultate lassen erkennen, daß nicht der Anbau von Körnern aus vielkörnigen Hülsen den höheren Ertrag verspricht, und sie legen zum Theil auch nahe, daß die Korngröße das Entscheidende ist. Das Letztere kann daraus geschlossen werden, daß bei Lathyrus und Cicer die Körner von einkörnigen Hülsen den höchsten Ertrag geben, während wir früher gesehen haben, daß bei diesen Pflanzen die schwersten Körner sich meist in einkörnigen Hülsen finden. Eine Vererbbarkeit der Vielzähligkeit läßt sich in ganz geringem Grade erkennen. Sie prägt sich weniger dadurch aus, daß in der Ernte gerade solche Hülsen die zahlreichsten sind, welche gleich viel Körner besitzen wie jene, von welchen Körner angebaut wurden, aber doch dadurch, daß Körner von mehrzähligen Hülsen meist auch eine verhältnißmäßig größere Zahl mehrzähliger Hülsen produziren als Körner aus minderzähligen Hülsen.

Wie bereits erwähnt, sollte es nicht Zweck dieser Arbeit sein, zur Lösung der Frage nach den Ursachen des Werthes der größeren Körner beizutragen. Wenn die wenigen einschlägigen Versuche, die angeführt wurden, überhaupt eine Annahme zulassen, so würde dieselbe dahin gehen, daß bei Hülsenfrüchten die Korngröße das entscheidende Moment für den Ertrag giebt, und daß nicht eine Vererbungskraft der Körner der schwereren Hülsen in erster Linie eine Rolle spielt.

Es wäre demnach bei Anbau der größeren Körner von Hülsenfrüchten kein indirekter Einfluß durch Vererbungskraft zu erkennen, sondern nur der direkte Einfluß der Korngröße. Die Bedeutung des größeren Kornes bei Hülsenfrüchten würde demnach zu suchen sein in dem absolut größeren Nährstoffreichthum größerer Körner und in der bedeutenderen Größe der Embryo's derselben. Außerdem würde in der Praxis der Werth der größeren Körner zum Anbau auch in der größeren Keimkraft[1]) und der

[1]) *Nielsen,* pag. 695 in *Biedermann*'s Centralblatt XVIII.

größeren Keimungsenergie [1]), sowie darin gesucht werden können, daß die größeren Körner unter einander gleichmäßiger ausgebildet sind [2]).

Für Getreide lag außer dem oben erwähnten mißlungenen Versuch noch ein weiterer vor, bei welchem ohne Auswahl nach ihrem Sitz in der Aehre Körner einer schweren und solche einer leichten Gerstenähre auf gleicher Fläche gebaut worden waren. Es ergab sich eine geringe Ueberlegenheit der Körner der schweren Aehre (Gesammtkörnergewicht von je 12 Pflanzen 180,10 gr von 120 Aehren, gegenüber 165,30 gr von 118 Aehren). Daraus könnte nicht gefolgert werden, daß den Körnern der schwereren Aehren überhaupt ohne Auswahl nach ihrem Sitze größere Ertragsfähigkeit innewohnt, dies würde erst dadurch bewiesen, wenn bei einem Vergleich von leichten Körnern einer schwereren Aehre mit schweren Körnern einer leichten Aehre erstere einen höheren Ertrag geben würden. Gegen die von *Liebscher* aufgestellte Annahme, daß es nicht so sehr auf die Größe der Körner, sondern mehr auf ihre Abstammung von großen Fruchtständen ankomme, könnten auch die Versuche des Schwedischen Saatzuchtvereines nicht geltend gemacht werden, bei welchen Außenkörner bei Hafer gegenüber Innenkörner ohne Rücksicht auf ihre Abstammung von schweren oder leichten Rispen höheren Ertrag gaben [3]).

Die dürftigen Schlüsse, welche sich aus den wenigen Versuchen, zunächst für Hülsenfrüchte, ziehen ließen, würden mit dem von *Marek* aufgestellten Gesetz übereinstimmen, das lautet: «daß das beste Saatgut jenes mit den größten Körnern ist und zwar deshalb, weil das größte Korn die größte Menge von Reservestoffen enthält» [4]). Bei der geringen Zahl dieser Versuche wurde es vermieden, Schlußfolgerungen in der Richtung der Frage zu ziehen und die Versuche daher auch nur in Kürze mitgetheilt. Als Folgerung aus den Resultaten soll, da dies bei den Versuchen allgemein zu Tage tritt, nur verwendet werden: «daß die einfache Benützung von Körnern aus vielkörnigen Hülsen kein Mittel ist, das geeignet ist, eine Ertragssteigerung herbeizuführen».

---

[1]) *Nobbe*, für Gerste und Weizen nachgewiesen, Versuchsstation 82, pag. 283.
[2]) *Marek*, Das Saatgut, pag. 184.
[3]) Spezial-Katalog des Schwed. Saatzuchtvereins, pag. 38.
[4]) *Marek*, Das Saatgut, pag. 192.

Zur Gewinnung der schwersten Körner bei Getreide und Hülsenfrüchten.

Die Ergebnisse der Untersuchung über den Sitz des schwersten Kornes lassen eine Auswahl der Hülse oder Aehre unnöthig erscheinen, wenn lediglich die schwersten Körner gewonnen werden sollen. Es genügt zu diesem Zwecke, wie bereits *Liebscher* für Getreide gezeigt hat, die Trennung der schwersten Körner aus dem gesammten Erdrusch. Der Genannte hat mit verschiedenen Maschinen Versuche darüber angestellt, inwieweit dieselben zu dieser Abscheidung verwendet werden können [1]). Er fand dabei, daß zur Erzielung guter Resultate im einzelnen Fall die Kombination mehrerer Maschinen nöthig sei und zwar für Gerste und Roggen Trieur (Patent *Krüger*) und Sieb, für Hafer und Weizen außerdem noch Cribleur (von *Caramyia Mangé*-Paris) oder rheinische Schwingen.

Als mir auf der «Allgemeinen land- und forstwirthschaftlichen Ausstellung» zu Wien gelegentlich meiner Thätigkeit als Juror in der schwedischen Abtheilung eine neue Sortirmaschine zur Beurtheilung unterkam, dachte ich sofort daran, daß möglicherweise mit derselben eine für die Saatzucht brauchbare Maschine gegeben sein könnte. Durch die Freundlichkeit des Ausstellungs-Kommissärs Herrn *C. Bendix* war es mir möglich, die Maschine durch längere Zeit in Mödling prüfen zu können und hat mich die Leistung derselben in angedeuteter Richtung sehr befriedigt. An anderem Ort habe ich über den Befund berichtet und findet sich daselbst auch eine Abbildung und Beschreibung der Maschine [2]). Hier hebe ich nur kurz hervor, daß die Abscheidung schwerer Körner aus Getreide und Grassamen auf befriedigende Weise erfolgt. Das Tausendkorngewicht einiger Proben stellte sich bei der Prüfung wie folgt:

Von 1,90 m vom Rand der Maschine bis		3,0 m.	4,15 m.	5,75 m.	6,85 m.
Chevalier-Gerste	gr:	34	40,3	42,8	44,5
Kolben-Land-Weizen	»	26,4	29,1	34,2	36,8,

vom Rande der Maschine bis 1,40 m.			von 1,60—1,90 m.	von 2—2,90 m.
Französisches Ryegras	gr:	1,38	3,8	4,8

[1]) Deutsche landwirthschaftliche Presse 1890, Nr. 78 und 1891, Nr. 21.

[2]) Wiener landwirthschaftliche Zeitung 1891, pag. 255.

Weniger zufriedenstellend war die Leistung der Maschine bei Hülsenfrüchten, da hier das Verrollen und Abspringen der sortirten Körner störend wirkte, welchem Uebelstande sich aber leicht abhelfen ließe. Die Tausendkorngewichte bei Viktoria-Erbsen betrugen beispielsweise:

Vom Rande der Maschine	bis 1,90 m.	bis 3 m.	bis 4,15 m.	bis 5,75 m.	bis 6,85 m.
gr:	375	372	381,5	384	456.

Schlechter wurden andere Erbsensorten und gelbe Lupinen, besser weiße Lupinen, echter Kicher, Linsen und Fisolen sortirt.

Gleichfalls im verflossenen Jahre wurde eine andere Sortirmaschine weiter bekannt, welche auch die Centrifugalkraft zur Sortirung benützt: die Getreidecentrifuge von Graf *Berg*. Genannte Maschine, welche sich nach der Beschreibung von der eben erwähnten, schwedischen hauptsächlich dadurch unterscheidet, daß sie die Körner nach allen Seiten hin auswirft, daher mehr Platz braucht, befriedigte bei der von der deutschen Landwirthschafts-Gesellschaft 1891 vorgenommenen Hauptprüfung von Geräthen durch einige Leistungen sehr. Wenngleich sie noch als wesentlich verbesserungsbedürftig bezeichnet wurde, erkannte man sie doch als preiswürdig [1]). Endlich kündigt in ihrer neuen Preisliste auch die Firma *Röber Söhne* in Eichrodt b. Eisenach eine neue Getreide-Centrifugal-Sortirmaschine «Rapid» an, welche gleichfalls die Wirkung der Centrifugalkraft benützt. Diese Maschine wird sowohl nach einer Seite, als auch rund schleudernd gebaut und weicht der Zeichnung nach jedenfalls sehr wenig von der *Berg*'schen ab, mit der sie auch die umständliche Art der Aufstellung theilt [2]). Das Prinzip, das diesen Maschinen zu Grunde liegt, ist zweifelsohne ein verwendbares. Seine Anwendung ist auch bereits vor längerer Zeit erfolgt [3]), wenngleich auch die betreffenden Maschinen sehr wenig bekannt wurden. Der Grund für die

---

1) Jahrbuch der deutschen Landwirthschafts-Gesellschaft 91 (Parey), pag. 76. Daselbst auch Beschreibung und Abbildung der Maschine.

2) Die neueste Preisliste der Firma, welche mir eben während der Correctur zugeht, führt unter der Bezeichnung «Rapid» die erwähnte schwedische Maschine an, deren Abbildung auch beigegeben ist, während die frühere Liste eine wesentlich abweichende Abbildung enthielt.

3) *Thallmayer* erwähnt in der Wiener landwirthschaftlichen Zeitung 1891, pag. 273, zweier in dem Werk von *Tschernajef* «Otschistka i Sortirofka Sjemjan» beschriebenen Centrifugalsortirmaschinen; einer solchen von *Maier* und einer anderen von *Tscherepof*.

erhöhte Aufmerksamkeit, welche heute solchen Maschinen geschenkt wird, scheint mir wohl darin zu liegen, daß die Ausbildung der Pflanzenzüchtung heute Bedürfnisse an maschinellen Hülfsmitteln schafft, welche früher nicht, oder nicht so dringend vorhanden waren, und der Reinigung und oberflächlichen Sortirung der Körner andere Maschinen vollkommen genügten.

Die Centrifugalsortirmaschine verdient in dieser Richtung neben Windfege, *Jossé's* Sortirmaschine und der grosse Geschicklichkeit der Arbeitenden erheischenden Manipulation des Wurfens, besondere Beachtung. Ihre Leistungsfähigkeit ist eine sehr bedeutende und die beiden am meisten hervortretenden Mängel: großer Raumbedarf bei der Aufstellung und Verwischung der erfolgten Sortirung durch Verrollen und Abspringen der getrennten Körner, sind wohl abzustellen. In letzterer Hinsicht würde, wie *Wittmack* empfiehlt [1]), die Anlegung von im Querschnitt zickzackförmigen Rinnen aus Tüchern oder, wie ich meinte [2]), die erhöhte Aufstellung der Maschine und Anbringung von Scheidewänden einen Erfolg erzielen lassen und leicht durchführbar sein. Was den großen Platzbedarf anbelangt, so ist derselbe bei einseitig werfenden Maschinen, wie die schwedische, ohnehin nicht sehr bedeutend, da nur ein mäßig breiter und nach einer Richtung hin langer Streifen verlangt wird. Allerdings sollen diese Maschinen nicht so vollkommen arbeiten wie die nach allen Seiten hin werfenden. Bei den Prüfungen der *Berg*'schen Centrifuge findet sich nur **eine** Reihe von Angaben und zwar für die Sortirung von Rothklee. Diese erfolgte nicht besser als durch die schwedische Maschine. Die Ausgestaltung und Prüfung der Centrifugalsortirmaschinen erscheint nach dem Gesagten entschieden wünschenswerth.

---

1) Jahrbuch der deutschen Landwirthschafts-Gesellschaft, Band VI, 1891, pag. 118.

2) Wiener Landwirthschaftliche Zeitung.

Mödling, 15. September 1891.

Die Auflösung der Blattrosette von Plantago media bei unterirdischer Kultur.

Von Prof. Dr. C. **Kraus** in Weihenstephan.

In der Abhandlung «Zur Kenntniß des Verhaltens der Pflanzen bei verschiedener Höhe der Erdbedeckung»[1]) ist erwähnt, daß sich die Getreidepflanzen in Bezug auf die Mittel, durch welche sie ihre Stöcke in geringere, günstigere Bodentiefe versetzen, ähnlich verhalten wie viele rosettenbildende Gewächse, indem auch letztere in Folge von Erdbedeckung ihre Stengelglieder strecken und ihre Blattbüschel immer in einer bestimmten Höhe, nämlich an der Erdoberfläche, ausbreiten. Hierbei wurde speziell Bezug genommen auf Bellis perennis und Plantago media.

J. Wiesner hat bei einer Reihe von Pflanzen, welche normalenfalls eine grundständige Blattrosette bilden, das Verhalten der Rosette unter abnormen Verhältnissen, worunter Abschluß von Licht und unterirdische Kultur, geprüft[2]) und gefunden, daß manche Arten sowohl im absolut feuchten Raum bei Beleuchtung, als im Finstern die Rosette auflösen, während andere nur durch Lichtentziehung oder nur durch Kultur im feuchten Raume hierzu gezwungen werden können, eine vierte Gruppe endlich weder im Finstern, noch im absolut feuchten Raume den ursprünglichen Habitus änderte, d. h. keine entwickelten Stengelglieder produzirte. Zur letzteren Gruppe wird auf Grund vieler Versuche Plantago media gerechnet. «Plantago major läßt sich durch unterirdische Kultur zur Bildung entwickelter Stengelglieder zwingen. Viel schwieriger gelingen diese Versuche bei Plantago lanceolata, hingegen gab Plantago media

[1]) Diese Zeitschrift, Bd. XII, S. 277.
[2]) Berichte der deutschen botan. Ges. IX, H. 2, S. 46.

bei diesen von mir oftmals wiederholten Versuchen durchaus negative Resultate. (Vergl. dagegen die Beobachtungen von *C. Kraus*)».

Aus Anlaß dieser Publikation hat Referent die Versuche mit Plantago media im Sommer 1891 wiederholt, aber das gleiche Resultat erhalten wie früher, indem bei Ueberdeckung mit Erde Auflösung der Blattrosette eintrat, soweit gehend, daß sich dieselben wieder an der Erdoberfläche ausbreiten konnten.

Die Versuche wurden theils so angestellt, daß auf einem Grasrasen, wo Plantago media haufenweise wuchs, etwa handhoch Erde (Lehm) aufgeschüttet wurde, theils wurden kräftige Pflanzen mit dem Erdballen ausgestochen und in Blumentöpfe gesetzt. Zeigten sie in diesen gesundes Wachsthum, so wurden die Töpfe (im Freien) in genügend tiefe Erdlöcher versenkt, um die Blätter bequem mit Erde (sandiger Lehm) bedecken zu können.

Bei den Versuchen mit Pflanzen an ihrem ursprünglichen Standorte kamen die Blätter zum größten Theil (bis auf die ältesten) in Bälde wieder zum Vorschein. Die ältesten vergilbten und starben ab, bei den nächst jüngeren streckten sich die Stiele, wobei ein erdwärtsgekehrter scharf gekrümmter Bogen entstand, soweit die Spreiten von der Erde festgehalten blieben; die jüngsten Blätter wuchsen gerade empor, um dann energische epinastische Krümmungen auszuführen. Alle diese Wachsthumsvorgänge lockerten die Erde über den Stöcken, sie wurde hierdurch mehr oder weniger beiseite geschoben, die Erdbedeckung wirkte sonach zunächst auf das Wachsthum der Blätter ein. Nachdem sich hierbei keine Stengelstreckung eingestellt hatte, wurde so verfahren, daß, sobald die Blätter nach der ersten Bedeckung mit Erde wieder zum Vorschein kamen, sofort und nöthigenfalls wiederholt Erde aufgedeckt wurde. Dies veranlaßte, daß auch der Stamm zum Wachsthum angeregt wurde, es entstanden zahlreiche Auflösungen der Rosetten[1]). Bei den Topfversuchen verhielten sich die Pflanzen ähnlich, durch wiederholte Erdüberschüttung entstanden Stämmchen von 4—5 cm Länge, die an der Spitze die neuen Rosetten trugen. Durch die Streckung waren zum Theil auch die ältesten Blätter der Rosetten von einander abgehoben, zum Theil blieben die Stengel in der Höhe von 2—3 der ältesten Blätter unbeein-

---

[1]) Herrn Prof. *Wiesner* wurden Belegexemplare übersandt.

flußt, während sich die Streckung an der folgenden Stengelregion vollzog. Jedenfalls sind diese Streckungen für die Pflanzen von Wichtigkeit als Hülfsmittel gegen die Gefahr der Verschüttung und des Ueberwachsens durch die Nachbarpflanzen, wie sie wohl auch als Gegengewicht gegen die Kontraktion der Wurzeln unentbehrlich sein werden.

Es ist gewiß von Interesse, daß die Versuche *Wiesner*'s und des Referenten bei der nämlichen Art so verschiedene Resultate gegeben haben. Es bleibt aufzuklären, welche besonderen Umstände bei der Auflösung der Blattrosetten von Plantago media maßgebend sind.

Neue Litteratur.

B. Frank und ***R. Otto.*** **Untersuchungen über Stickstoffassimilation in der Pflanze.** Ber. d. deutsch. bot. Ges. Bd. VIII. 1890. S. 331—342. — Bot. Zentralblatt. Von *O. Uhlworm.* Bd. XLVI. Nr. 1/2. S. 35.

Die eine Reihe der Versuche der Verff. beschäftigt sich mit der Frage, inwieweit die grünen Blätter der Pflanze an der Stickstoffassimilation betheiligt sind. — Ausgehend von dem Bekannten, was über die Ernährungsthätigkeit des grünen Blattes schon feststeht, daß das letztere das Organ ist, in welchem unter dem Einflusse des Lichtes die aus der Luft direkt in das Blatt aufgenommene Kohlensäure in kohlenstoffhaltige organische Verbindungen umgewandelt wird, wurde die Frage gestellt, ob im Blatte eine solche stete Neubildung vielleicht auch hinsichtlich der stickstoffhaltigen organischen Substanz vor sich gehen möchte. Die Erwägung nun, daß, wenn in den grünen Blättern auch stickstoffhaltige Substanz erzeugt und von dort der Pflanze zugeführt werden sollte, dies vielleicht in Form einer steten Neubildung und Auswanderung von Amidoverbindungen im Blatte sich kund geben würde, wurde insofern bestätigt, als thatsächlich sowohl mikrochemisch als auch makrochemisch in vollkommen erwachsenen und ausgebildeten Blättern (Trifolium pratense, Robinia Pseudacacia, Carum carvi) auffallend viel Asparagin gefunden wurde.

Der Gehalt sowohl an Gesammtstickstoff als auch an Stickstoff in Form von Asparagin war makrochemisch in Prozenten der Trockensubstanz folgender:

	Gesammt-stickstoff.	Asparagin-stickstoff.	Asparagin wasserfrei.
1. Trifolium pratense	2,087	0,103	0,973
2. Robinia Pseudacacia	3,376	0,116	1,093
3. Carum carvi	2,525	0,584	5,506.

Hinsichtlich der Thatsache, daß die grünen Blätter am Abend reich an Stärkemehl sind, sie am Morgen aber dasselbe größtentheils oder ganz wieder verloren haben, wurde die Frage zu beantworten gesucht, ob betreffs der stickstoffhaltigen Substanz des Blattes ein ähnliches Verhalten bestehe. — Von an besonders heiteren Tagen abgeschnittenen, vollständig erwachsenen Blättern verschiedener Pflanzen, von denen das eine Quantum am Abend ungefähr beim Sonnenuntergang, das andere am nächsten Morgen gleich nach Sonnenaufgang entnommen und die möglichst gleichartig und gleichalterig ausgewählt waren, ergaben die nach dem Trocknen bei 60° C. bis zum konstanten Gewicht ausgeführten Bestimmungen des Gesammtstickstoffes (es seien hier nur einige Pflanzen angeführt) folgende Resultate:

			Gesammtstickstoff.
1. Trifolium pratense	9. Juni	Abends 8 Uhr	2,087 %
» »	10. »	Morgens 8 Uhr	1,486 »

				Gesammtstickstoff.
2. Medicago sativa	14. Juli	Abends 8 Uhr		4,382 »
» »	15. »	Morgens 8 Uhr		2,906 »
3. Lathyrus sylvestris	14. »	Abends $8^1/_2$ Uhr		4,124 »
» »	15. »	Morgens 7 Uhr		3,088 »
4. Brassica oleracea	14. »	Abends 8 Uhr		2,947 »
» »	15. »	Morgens 5 Uhr		2,456 »
5. Carum carvi	3. Sept.	Abends $6^1/_2$ Uhr		2,525 »
» »	4. »	Morgens 7 Uhr		2,323 »
6. Lupinus luteus	3. »	Abends $6^1/_2$ Uhr		2,883 »
» »	4. »	Morgens $6^1/_2$ Uhr		2,832 ».

Die Versuche zeigten ausnahmslos, daß die grünen Blätter der Pflanzen an jedem Abend stickstoffreicher sind als am nächsten Morgen. Der Mehrgehalt ist besonders bei Luzerne, Rothklee und Lathyrus sehr bedeutend. Aber auch die Nicht-Leguminosen zeigen, wenn auch in durchschnittlich geringerem Grade, diese Erscheinung. Die Jahreszeit, d. h. die Dauer der täglichen Beleuchtung und die Höhe der Temperatur ist vielleicht auch von Einfluß, wie die bei den letzteren zwei im September ausgeführten Versuchen mit Kümmel und Lupine erhaltenen geringen Unterschiede vermuthen lassen. — Auch im Asparagingehalt der untersuchten Blätter zeigte sich das gleiche Verhalten, daß die grünen Blätter am Abend reicher an Asparagin sind als am nächsten Morgen. So ergeben bei Trifolium pratense:

Abendblätter,	9. Juni . .	0,973 %	Asparagin (wasserfrei).
Morgenblätter,	10. » . . .	0,277 »	»

Weiter wurden, um die Zufuhr von Stickstoffverbindungen aus der Pflanze in das Blatt auszuschließen, Versuche in folgender Weise angestellt: Von am Morgen abgeschnittenen, möglichst gleichartigen Blättern, wurde ein Theil sofort bei 60° C. bis zum konstanten Gewicht getrocknet, während der andere in große, mit destillirtem Wasser gefüllte Schalen so eingesetzt wurde, daß die Stiele eintauchten und die Blätter in möglichst natürlicher Lage in der Luft sich befanden. Die so bis zum Abend im Freien an einer ganz hellen, der Sonne zugänglichen Stelle gewesenen Blätter wurden dann wie die ersteren behandelt. Es ergaben:

1. Trifolium pratense	3. September	Morgens 6 Uhr	3,617 % N
„ »	3. »	Abends 6 Uhr	3,765 » »
2. Lupinus luteus	3. »	Morgens 6 Uhr	2,832 » »
» »	3. »	Abends 6 Uhr	3,163 » ».

Hiernach scheint auch eine Erwerbung von Stickstoff durch das Blatt allein stattzufinden.

Eine andere Reihe von Versuchen sollte die Frage beantworten, ob das Rhizobium der Leguminosenknöllchen elementaren Stickstoff zu assimiliren vermag. Da sich das Rhizobium leicht in sterilisirten künstlichen Nährlösungen züchten läßt, wodurch die Fähigkeit dieses Pilzes, sich auch getrennt von den Leguminosen zu ernähren und zu vermehren, erwiesen ist, so wurden mit dem Pilze Parallelkulturen angestellt, in denen die Stickstoffquelle variirt wurde. Das

Rhizobium wurde mit allen üblichen Vorsichtsmaßregeln künstlich gezüchtet in ca. 1% Lösungen von reinem Rohrzucker, von Asparagin, sowie von Rohrzucker und Asparagin nach Zusatz einer kleinen Menge einer mineralischen Nährstofflösung, jedoch ohne eine Stickstoffverbindung. Es zeigte sich, daß Asparagin und Zucker die beste Nahrung für den Symbiosepilz der Leguminosen sind, und daß auch Asparagin als einzige organische Verbindung ihn, wenn auch etwas schwächer, zu ernähren vermag, daß aber Zucker als einzige organische Verbindung nebst elementarem Stickstoff als einzige Stickstoffquelle nur sehr geringfügigen Erfolg hat. Weitere hier nicht näher auszuführende Untersuchungen ergaben: Der Symbiose-Pilz der Leguminosen vermehrt sich bei vollständigem Mangel an Stickstoffverbindungen mit Hilfe von Stickstoff aus der Luft zwar etwas, aber nur sehr langsam und viel unbedeutender, als wenn ihm organische Stickstoffverbindungen, wie es in der Pflanze der Fall ist, geboten sind. Es giebt jedoch auch noch andere Pilze, welche in stickstofffreien Medien wachsen, und dabei langsam Stickstoff aus der Luft erwerben können. — Durch die vorstehenden Thatsachen ist also noch nicht bewiesen, daß die Stickstoffassimilation der Leguminosen von dem Rhizobium vollzogen werde, denn die beobachtete schwache und langsame Vermehrung des Pilzes in der stickstofffreien Zuckerlösung reicht nicht entfernt aus, um die energische und rasche Stickstoffassimilation der Leguminosen zu erklären. — Andere Versuche, zum Belege dafür angestellt, daß die Erbse auch ohne Mitwirkung des Symbiose-Pilzes kräftig Luftstickstoff zu assimiliren vermag, zeigen deutlich: 1) daß die Pilzsymbiose einen günstigen Einfluß auf die Gesammtproduktion und auf die Stickstoffauwerbung der Pflanze ausübt; 2) daß aber auch ohne Pilzsymbiose die Erbse ebenfalls Stickstoff aus der Luft erwerben und den Boden noch etwas stickstoffreicher durch die von ihr hinterlassenen Wurzelreste machen kann.

W. Palladin. **Eiweißgehalt der grünen und etiolirten Blätter.** Ber. d. deutsch. bot. Ges. Bd. IX. 1891. S. 194—198. — *Biedermann*'s Zentralbl. f. Agrikulturchemie. 1891. S. 755.

Ueber den Eiweißgehalt grüner und etiolirter Blätter lagen bisher genauere Vergleiche nicht vor. Aeltere Ermittelungen z. B. von *Karsten*[1]) stützen sich nur auf den Befund an Gesammtstickstoff und haben für die Beurtheilung der verschiedenen Verbindungsformen aus diesem Grunde keine Bedeutung.

Die vom Verf. für seine Versuche benützten Samen wurden in Gartenerde (in einem Falle in Quarzsand) gesäet. Die grünen Pflanzen wurden unter normalen Bedingungen an nach Südost belegenen Fenstern, die etiolirten in großen hölzernen, mit schwarzem Baumwollenzeuge bedeckten Kisten gezogen. Die Abscheidung des Eiweißes geschah nach der Methode von *Stutzer*. Die zerkleinerten Pflanzentheile (die Blätter wurden stets abgesondert, und zwar ohne Blattstiel benutzt) wurden mit Wasser zum Sieden erhitzt und nach Zusatz von etwas Alaunlösung (um etwa vorhandene phosphorsaure Alkalien unschädlich zu machen) in bekannter Weise mit Kupferoxydhydrat etc. behandelt. Der Stickstoffgehalt

---

[1]) Landw. Versuchsstationen. Bd. XIII. 1871. S. 176.

wurde nach *Kjeldahl*'s Verfahren bestimmt und die Anwendbarkeit im gegebenen Fall durch besondere Kontrolversuche sicher gestellt.

Die dermalige Untersuchung befaßt sich mit Vicia Faba, und zum Vergleich werden einige frühere Ergebnisse von Weizenblättern mit aufgeführt. — Den Inhalt der betreffenden Tabellen etwas knapper zusammenfassend, geben wir hier das Zahlenmaterial des Verfassers:

	In der Trockensubstanz.		In frischer Substanz.	
	Gesammt-stickstoff.	Eiweiß-stickstoff.	Gesammt-stickstoff.	Eiweiß-stickstoff.
	%	%	%	%
1. Vicia Vaba. 21 tägige grüne Pflanzen bei 17° C. gezogen, jüngere Blätter	9,7	7,1	—	—
ältere Blätter (12,7 % Trockensubstanz)	9,2	6,2	—	—
2. Vicia Faba. 22 tägige etiolirte Pflanzen, bei 17—18° C. Blätter	10,3	7,5	—	—
Stengel	7,7	1,8	—	—
3. Vicia Faba. 18 tägige etiolirte Blätter, bei 18—21° C.	—	—	1,94	1,34
4. Vicia Faba. 16 tägige etiolirte Blätter, bei 22—23° C.	10,5	6,8	1,86	1,22
5. Weizenblätter grüner, 15 tägiger Pflanzen, bei 15—19° C., hatten im Durchschnitt ergeben	—	—	—	0,3188
6. Weizenblätter etiolirter 15—16 tägiger Pflanzen, bei 14—18° C., hatten im Durchschnitt ergeben	—	—	—	0,2056

Von 100 Theilen vorhandenen Gesammtstickstoffs entfallen hiernach bei Vicia Faba:

	auf Eiweißstoffe	auf nicht eiweißartige Substanzen
In den grünen Blättern (jüngeren) . . .	73,4	26,6
» » » » (älteren)	67,3	32,7
» » etiolirten Blättern (Versuch 2) . .	72,8	27,2
» » » » (» 3) . .	69,1	30,9
» » » » (» 4) . .	64,7	35,3
» » » Stengeln	23,3	76,7.

Der Gehalt an Eiweißstoffen (aus dem Stickstoffgehalt mittelst des Faktors 6,25 zu berechnen) auf trockene, resp. frische Pflanzensubstanz prozentisch bezogen, stellt sich nach Obigem folgendermaßen:

Vicia Faba.	Eiweißstoff	
	in der Trockensubstanz.	in der frischen Substanz.
Grüne Blätter (jüngere)	44,8 %	— %
» » (ältere)	38,7 »	4,95 »

Vicia Faba.	Eiweißstoff in der Trockensubstanz.	Eiweißstoff in der frischen Substanz.
Etiolirte Blätter (Versuch 2)	49,4 %	— %
» » (» 3)	42,5 »	— »
» » (» 4)	— »	8,38 »
» Stengel	11,2 »	— »
Weizen.		
Grüne Blätter	— »	1,99 »
Etiolirte »	— »	1,28 ».

Aus diesen Versuchen folgert der Verf., daß sich etiolirte Blätter nach ihrem Eiweißgehalt in zwei Gruppen theilen. Blätter stengelloser etiolirter Pflanzen sind eiweißärmer als die der grünen; dahingegen sind Blätter der mit Stengeln versehenen etiolirten Pflanzen bedeutend eiweißreicher als grüne Blätter. Die Stengel selber sind im etiolirten Zustande sehr arm an Eiweiß.

Die gegenwärtigen Untersuchungen dienen somit zur weiteren Bestätigung der vom Verf. ausgesprochenen Theorie über die Ursachen der Formveränderung etiolirter Pflanzen[1]); er äußert sich hierüber wörtlich wie folgt: «Eiweißreiche Blätter von Vicia Faba verbleiben im Dunkeln in unentwickeltem, embryonalem Zustande nicht aus Mangel an organischen Nährstoffen[2]). Verminderte Transspiration verursacht eine sehr geringe Aufnahme der Mineralstoffe. Daraus folgt, daß die Blätter der mit Stengeln versehenen etiolirten Pflanzen unentwickelt bleiben aus demselben Grunde, aus welchem man aus eiweißreichsten Samen bei Kultur in destillirtem Wasser ohne die nöthigen Aschenbestandtheile keine normale Pflanzen erhalten kann. Etiolirte Blätter von Weizen und etiolirte Stengel von Vicia Faba wachsen, trotz ihres geringen Eiweißgehaltes, sehr rasch, da sie aus dem Boden viel Wasser mit den nöthigen Mineralstoffen erhalten[3]).»

W. Saposchnikoff. **Ueber die Grenzen der Anhäufung der Kohlenhydrate in den Blättern der Weinrebe und anderer Pflanzen.** Berichte der deutsch. bot. Ges. Bd. IX. H. 9. S. 293—300.

Verf. suchte das Maximum des Stärkegehalts, bei welchem die Kohlensäurezersetzung in den Blättern aufhört, für etliche Fälle (Vitis vinifera, V. Labrusca,

1) Diese Zeitschrift. Bd. XIV. 1891. S. 114.

2) Diese Anschauung ist entschieden unrichtig, und läßt sich durch die vom Verf. mitgetheilten Zahlen insofern nicht beweisen, als dieselben sich auf den relativen Gehalt an Eiweißstoffen beziehen, während offenbar die absoluten Mengen an solchen in vorliegendem Falle allein in Betracht kommen. Etiolirte Pflanzen enthalten aber beträchtlich geringere Mengen von organischem Bildungsmaterial als grüne. (Vergl. diese Zeitschrift. Bd. VII. 1884. S. 351.) *D. H.*

3) Wenn die Transpiration etiolirter Pflanzen, wie Verf. und Andere nachgewiesen, beschränkt und demgemäß die Wasseraufnahme seitens der Pflanzen vermindert ist, so ist nicht zu verstehen, aus welchen Gründen die Stengel so viel Wasser erhalten sollen. Uebrigens verwechselt hier Verf. Ursache und Wirkungen, denn die in Rede stehende Verminderung der Transpiration ist, wie aus allen bekannten Thatsachen geschlossen werden muß, nicht die primäre Ursache der mangelhaften Ausbildung der etiolirten Blätter, sondern eine sekundäre Erscheinung, weil der Lichtmangel an sich die betreffenden Formveränderungen zunächst hervorruft. (Diese Zeitschrift. Bd. II. 1879. S. 171.) *D. H.*

Rubus caesius, R. fruticosus) ziffermäßig zu bestimmen. Die Blätter wurden gewöhnlich unter Wasser abgeschnitten und dann in ein helles Kulturfenster mit den Stielen in's Wasser gestellt. Nach einigen Tagen wurde nach der Blatthälftenmethode die Fähigkeit dieser Blätter zur Bildung von Kohlenhydraten geprüft. Wenn diese Blätter keine weitere Vermehrung der Kohlenhydrate zeigen, die frisch abgeschnittenen Kontrolblätter aber vollständig gut assimiliren, konnte man annehmen, daß jene schon bis zur Maximalgrenze gesättigt sind.

Bei den Blättern von Vitis vinifera ist ein Quantum von 16,686 gr pro 1 qm oder 27,5 % des Trockengewichts als Maximalgrenze anzunehmen, bei V. Labrusca schwankt es zwischen 11 u. 19 gr pro qm oder zwischen 17 u. 25 % des Trockengewichts; bei R. caesius sind die betreffenden Zahlen 14,626 bis 15,737 resp. 23,3 bis 25,6 %; bei R. fruticosus 13,737 bis 15,900 resp. 18,0 bis 20,7 %.

Wie schon früher nachgewiesen, ging die Assimilation im Verhältniß zur Anhäufung der Kohlenhydrate immer langsamer vor sich.

Weiter sollte die Grenze bestimmt werden, welche die Konzentration des Zuckers in den Blättern bei Anwesenheit der Stärke erreichen kann. Bei Vitis vinifera erreichte die Konzentration nach 7tägigem Aufenthalt im Kulturfenster bei trübem Wetter und 16—17° C. fast 4, nach 10 Tagen bei hellem Wetter und bei 20—24° C. bis 5,2 % oder gegen 7 gr pro qm; bei V. Labrusca nach 5 Tagen (15—25° C.) 6,8 % oder 8,5 gr pro qm; bei Rubus caesius nach 4 Tagen 6,7 % oder gegen 8 gr pro qm; bei R. fruticosus nach 4 Tagen 6 % oder gegen 7 gr pro qm.

Um die Abhängigkeit der Stärkebildung von der Zuckerkonzentration näher zu bestimmen, wurden Blätter auf 2, 4, 6, 8 % Dextroselösung gelegt und die Gefäße im Dunkeln im dampfgesättigten Raum stehen gelassen. Die Stärkebildung beginnt schon bei 2 % Zuckerlösung und geht bei 8 % am besten von statten. In den Blättern geschieht Stärkebildung aus Zucker und Zuckerbildung aus Stärke neben einander und von dem Verhältnisse der beiden Prozesse hängt die Zuckerkonzentration in den Blättern ab. Die Konzentration, bei der beide Prozesse mit gleicher Intensität geschehen, wird nahe dem maximalen Zuckergehalte der Blätter liegen. *C. K.*

***P. Knuth.* Die Einwirkung der Blüthenfarben auf die photographische Platte.** Bot. Zentralblatt. Bd. XLVIII. Nr. 6/7. S. 161—165.

Auf Grund der Beobachtung, daß manche Blüthen trotz unscheinbaren Aussehens von Insekten stark besucht werden, kam Verf. auf die Vermuthung, es möchten solche Blüthen Eindrücke auf die Augen der Insekten machen, welche dem menschlichen Auge nicht wahrnehmbar, also ultraroth oder ultraviolett sind. Schon die ersten Versuche mit Blüthen von Sicyos ließen erkennen, daß diese Blüthen viel mehr aktinische Strahlen aussenden als die Blätter; während sich die ersteren von den Blättern für das menschliche Auge nur wenig abheben, müssen sie einem für aktinische Strahlen empfänglichen Sehorgane sehr verschieden erscheinen. Bei den weiteren photographischen Aufnahmen verschiedenfarbiger Blüthen traten die Blüthenfarben in der nach der Kurve der chemisch wirkenden Strahlen des Spektrums zu erwartenden Reihenfolge auf, die weißlich grünen

Blüthen von Sicyos und Bryonia traten aber früher und stärker hervor, als man nach ihrer Färbung annehmen konnte. Auf der Photographie erschienen die hellbeleuchteten Stellen der grünlichen Blüthen ebenso stark wie die weißen, violetten und blauen Blüthen, obwohl die Intensität der Blüthenfarbe von Sicyos und Bryonia vielleicht nur ein Drittel von der Intensität der weißen Farbe ist, wie mittelst eines Photometers nachgewiesen wurde. Zur Erklärung der so starken chemischen Wirkung bleibt nur die Annahme ultravioletter Strahlen übrig, die große Zahl der die Blüthen von Sicyos besuchenden Insekten würde durch die ultraviolette Farbe der Blumenkrone erklärt werden. *C. K.*

O. Löw. **Ueber den Einfluß der Phosphorsäure auf die Chlorophyllbildung.** Bot. Zentralblatt. Bd. XLVIII. Nr. 13. S. 371.

In einer Nährlösung von 0,2 ‰ Calciumnitrat und 0,02 ‰ Ammoniumsulfat befindliche Fäden von Spirogyra majuscula blieben im zerstreuten Tageslicht wochenlang am Leben, die Zellen waren gewachsen, während die Zunahme der Masse höchst unwesentlich schien. Das Chlorophyllband war fahl gelblich, funktionirte aber noch, wenn auch viel weniger energisch als im normalen Zustande. Zusatz von 0,02 ‰. Eisenvitriol bewirkte kein Ergrünen, dies trat erst ein, als 0,08 ‰ Dinatriumphosphat zugesetzt wurde. Ein krankhafter Zustand in Folge des Mangels an Kalium- und Magnesiumsalzen war auch nach einiger Zeit noch nicht zu erkennen. Verf. schließt aus seinen Versuchen, daß hierdurch die Ansicht eine Stütze erhalte, daß zur Bildung eines normalen Chlorophyllfarbstoffs nicht nur Eisensalze, sondern auch Phosphate nöthig seien.

C. K.

E. Mer. **Einfluß einiger inneren Ursachen auf die Gegenwart der Stärke in den Blättern.** Comptes rendus. T. CXII. p. 248. — Bot. Zentralblatt von *O. Uhlworm.* Beihefte. Bd. I. 1891. Heft 3. S. 184.

Nach den experimentellen Ergebnissen, welche wir über die Bedingungen gewonnen haben, die die Stärkebildung begünstigen, müßte man annehmen, daß das Stärkemehl in größter Menge in den gut belichteten wachsthumskräftigen Blättern und besonders in dem Parenchym der am besten beleuchteten Seite auftrete und daß es reichlicher im Sommer als im Herbst oder Frühling vorhanden sei. Das ist aber durchaus nicht immer der Fall. Verf. hat sich deswegen die Aufgabe gestellt, den nach dieser Richtung hin auftretenden Anomalien weiter nachzuspüren und zu diesem Zwecke während einer Vegetationsperiode, d. h. vom April an bis Ende Oktober, eine gewisse Zahl Pflanzen verschiedener Art unter Bedingungen beobachtet, die nach Stellung und Beleuchtung mannigfach abänderten. Besonders waren es Koniferen, da ihm diese für den betreffenden Zweck am geeignetsten erschienen. Die Beobachtungen wurden in den Vogesen bei 750 m Seehöhe vorgenommen und dabei die geringsten Variationen beachtet, die sich im Gehalt der Blätter an Stärkemehl zeigten. Um die konstatirten Differenzen übersichtlicher werden zu lassen, theilte er die in's Auge gefaßte Periode in 4 Abschnitte, wovon der erste April und Mai, der zweite Juni bis

Mitte August, der dritte die Zeit von Mitte August bis Ende September, der vierte den Oktober umfaßte. Die beobachteten Thatsachen zeigten, daß die Beziehung zwischen Produktion und Resorption der Stärkesubstanz der Zellen während einer Vegetationsperiode unablässigen Variationen unterliegt. Im ersten Frühling ist die Stärkeerzeugung eine der ersten Funktionen, welche nach der Winterruhe auftritt und zwar geschieht dies vor der Entwicklung der Knospen, vor dem Erwachen der kambialen Thätigkeit. Die Neubildung übersteigt den Verbrauch, weshalb in den Blättern eine Anhäufung von Stärkemehl erfolgt. Findet die Stärke später Verwendung bei der Bildung neuer Gewebe und wird anderentheils die Respiration stärker, so schließen die Blätter weniger davon ein, selbst wenn die äußeren Bedingungen für ihre Erzeugung günstiger sind. An schönen Tagen ist die Bildung noch größer als der Verbrauch, aber das ist nicht mehr der Fall bei trüber Witterung. Das Fehlen des Stärkemehls im oberen Parenchym, welches nach einigen Regentagen beobachtet wird, zeigt, daß durch Verminderung der Belichtung die Bildung der Stärke mehr beeinflußt wird, als ihre Wanderung. Im Herbst erscheinen Bildung und Verbrauch bedeutend abgeschwächt, aber der Verbrauch am meisten, weil das Wachsthum aufgehört hat. Deshalb sieht man an schönen Tagen in einigen Blättern, besonders solchen, die in Folge ihres Alters einem sehr beschränkten Verlust unterliegen, eine nochmalige Ansammlung eintreten.

Alle Ursachen, welche die Wanderung der Stärke verhindern, begünstigen ihre Anhäufung in den Blättern. So schlossen Weißtannen, die seit mehreren Jahren beschnitten worden waren, um aus ihnen einen Zaun zu bilden, in ihren Blättern mehr Stärkemehl ein, als ihre unbeschnitten gebliebenen Nachbarn, was dem zuzuschreiben ist, daß der Stärkeabfluß langsamer erfolgt und der für die Stärkespeicherung bestimmte Raum durch successive Beseitigung der Aeste beschränkt worden ist.

Eine ähnliche Stärkeanhäufung tritt ziemlich oft und manchmal in noch höherem Grade bei den Stämmen ein, deren Wachsthum durch verschiedene Ursachen verzögert wird. So schlossen die Blätter verkrüppelter Fichten zahlreichere und dickere Stärkekörner ein als die lebhaft wachsenden Exemplare. Es gilt dies auch für junge Bäume, deren Vegetation durch Versetzen abgeschwächt wurde, für schwächliche Pflänzchen einige Zeit nach der Keimung und manchmal selbst für Tannen, die unter einer dicken Decke vegetiren. Doch läßt sich die Seltenheit des Stärkemehls in den Blättern Ende August und im September, die selbst an warmen, sonnigen Tagen beobachtet wird, nicht durch die alleinige Beziehung zwischen Bildung und Resorption erklären, da am Anfang des Herbstes der Verbrauch wegen des beinahe gänzlich unterbrochenen Wachsthums sehr beschränkt ist. Hält man diesen Mangel mit dem im ersten Frühling selbst unter ungünstigen Bedingungen vorhandenen Ueberflusse zusammen, so kommt man zu der Erkenntniß, daß unter dem Einfluß gewisser innerer, noch unbekannter Ursachen die Stärkebildung nach den verschiedenen Zeiten des Jahres sehr variabel ist. Nach der Winterruhe zeigt sie sich am stärksten, Ende des Sommers scheint sie erschöpft. Es kommt dabei jedenfalls eine von den Erscheinungen der inneren Periodizität zum Ausdruck, deren man mehrere aus dem Leben der Pflanze kennt, wie die Entwickelung von Knollen und Zwiebeln, das Erscheinen der Blüthe etc., welche sich nur zu bestimmten Zeiten vollziehen.

T. C. Day. **Der Einfluß der Temperatur auf keimende Gerste.** Journ. of the Chem. Soc. 1891. Vol. LX. p. 664. — Naturw. Rundschau. 1891. Nro. 49. S. 641.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß unter sonst gleichbleibenden sonstigen Bedingungen eine Zunahme der Temperatur innerhalb gewisser Grenzen den Keimungsvorgang der Gerste befördert. Vom technischen Gesichtspunkt muß ein Studium des Einflusses der Temperatur auf keimende Gerste von großer Wichtigkeit sein, in Anbetracht der hervorragenden Rolle, welche derselbe bei dem Malzprozeß spielt. Der Einfluß der Temperatur auf die Kohlensäure-Erzeugung durch keimende Samen ist seit 1865 durch *Sachs*, *Laskovsky*, *Borodin*, *Rischavi*, *A. Mayer* und *Petersen* untersucht worden. Das Ergebniß dieser Beobachtungen war, daß die Erzeugung von Kohlensäure durch keimende Samen mit der Temperatur zunimmt. Die Kenntniß der Kohlensäuremenge, welche von keimender Gerste während des Wachsthums bei verschiedenen Temperaturen abgegeben wird, ist von großem Werth, weil aus ihr auf die Menge der zersetzten Stoffe geschlossen werden kann. Eine gute Schätzung der Keimungsenergie in verschiedenen Wachsthumsstadien kann auch durch Messung der in bestimmten Zeiträumen erzeugten Kohlensäuremengen erhalten werden. Vom praktischen Gesichtspunkt würde aber ein Einblick in die Konstitution und die Eigenschaften des von wachsender Gerste bei verschiedenen Temperaturen erzeugten Malzes von viel größerem Werth sein. Mit Berücksichtigung dieses Umstandes hat nun Verf. identische Proben von Gerste bei verschiedenen Temperaturen, aber unter sonst gleichen Bedingungen keimen lassen. Jeder Versuch dauerte 10 Tage, die erzeugte Kohlensäure wurde von Tag zu Tag gewogen und am Ende der 10 Tage wurde die gekeimte Gerste getrocknet und für die weitere Analyse verwahrt. Die vom Verf. eingehend beschriebene Versuchsanordnung kann hier nicht näher geschildert werden; es mag genügen zu sagen, daß dieselbe eine außerordentlich sorgfältige war und zu keinen Ausstellungen Veranlassung giebt.

Im Ganzen wurden sechs Versuche bei folgenden Temperaturen ausgeführt: 1) 38,3—43° F. (3,5—6,1° C.). 2) 50° F. (10° C.). 3) 55° F. (12,8° C.). 4) 60° F. (15,5° C.). 5) 65° F. (18,3° C.). 6) 70° F. (21,1° C.). Der Versuch 1. hatte bei 40° F. durchgeführt werden sollen, doch erwies es sich als schwierig, die Temperatur auf einem so niedrigen Punkte zu erhalten. Die Ergebnisse hinsichtlich der Kohlensäure-Entwickelung stellt Verf. graphisch durch Kurven dar. Unter diesen Darstellungen ist zunächst die zweite beachtenswerth, welche die Kohlensäure-Entwickelung in Milligrammen für jede Stunde eines Tages in den einzelnen sechs Versuchen angiebt. Man ersieht daraus, daß bei Versuch 1 die Kohlensäuremenge vom Anfang bis zum Ende allmählich wächst. Bei 2 und 3 nimmt die Gasentwickelung bis zum 5. Tage zu, worauf sie ungefähr konstant bleibt und nur gegen das Ende etwas abnimmt. Die Kurve für den 4. Versuch zeigt die größte Kohlensäure-Entwickelung am 4. Tage; dann nimmt sie beständig ab. Bei den Versuchen 5 und 6 erreicht die Gasentwickelung, obwohl anfangs sehr lebhaft, ihr Maximum noch etwas früher, für Nr. 5 zwischen dem 3. und 4. Tage, für Nr. 6 am 3. Tage. Bei diesen beiden Versuchen nimmt die Kohlensäuremenge gegen den Schluß hin ziemlich rasch ab.

Die vom Verf. mitgetheilten Tabellen zeigen außerdem, daß der Vorgang der Keimung bei den höheren Temperaturen viel rascher verläuft als bei den niedrigeren.

Die Zusammensetzung des trockenen Malzes zeigte in den einzelnen Reihen deutliche Unterschiede. Die Fette nahmen mit wachsender Temperatur ab; die Zuckerarten nahmen bis 55° F. zu, nachher war der Betrag geringer, aber größer bei 70 als bei 65° F. Die nichtzuckerartigen löslichen Kohlehydrate nahmen, wie der Zucker, zuerst rasch zu; bei 50, 55 und 60° F. blieben sie im Ganzen unverändert. Die Stärke nahm zwischen 40 und 50° F. rascher ab und zeigte noch bei 55° F. eine entschiedene Abnahme; von hier bis 70° F. zeigten die Zahlen eine Zunahme. Die Cellulose nahm mit wachsender Temperatur ab. Die Gruppe der im Wasser von 40° C. löslichen stickstoffhaltigen Substanzen, welche auch nach dem Kochen gelöst bleiben (nicht koaguliren), zeigte eine Zunahme bis 55° F., von hier bis 70° F. war aber eine allmähliche Abnahme bemerkbar. Die koagulirenden stickstoffhaltigen Stoffe waren nur in kleiner Menge gegenwärtig; sie nahmen bis 60° F. allmählich zu, später nahmen sie etwas ab. Die Stoffe, welche durch Konversion der Stärke unter Einwirkung der Diastase entstehen, wenn man das Malz mit Wasser von 40° C. behandelt, folgen derselben Regel wie die nicht koagulirenden stickstoffhaltigen Stoffe, indem sie ihr Maximum bei 55° F. hatten.

Der wichtigste Punkt, der sich hiernach herausgestellt hat, ist, daß in dem bei einer Temperatur von 55° F. (12,8° C.) entstandenen Malz die Zuckerarten ihr Maximum erreichen, die Stärke am bedeutendsten abgenommen hat, die nicht koagulirenden stickstoffhaltigen Substanzen in größter Menge anwesend sind und das diastatische Ferment am aktivsten ist. Dieses Ergebniß gewinnt noch an Bedeutung, wenn man die dritte der graphischen Tafeln betrachtet, auf welcher die Totalproduktion der Kohlensäure und das Gesammt-Trockengewicht der von den Gerstenkörnern beim Keimen gebildeten Würzelchen für die verschiedenen Temperaturen durch zwei Kurven dargestellt sind; auf der Ordinatenaxe sind die Gewichte, auf der Abszissenaxe die Temperaturen abgetragen. Bis 55° F. steigen beide Kurven mächtig an, wobei sie annähernd parallel laufen; dann wird die Kohlensäure-Kurve weniger steil, die Wurzelkurve aber läuft sogar in annähernd horizontaler Richtung weiter. Hierdurch zeigt sich deutlich, daß bei 55° F. eine bemerkenswerthe Veränderung im Keimungsvorgange stattfinden muß. Es scheint auch, als ob bei den höheren Temperaturen wenigstens ein Theil der Kohlensäure mehr auf Kosten der Zuckerarten und anderer löslicher, in den früheren Keimungsstadien gebildeter Kohlehydrate erzeugt würde, als daß die Stärke allein durch ihre Oxydation der gesammten Gasmenge den Ursprung gebe.

***A. Aloi.* Der Einfluß der atmosphärischen Elektrizität auf die Vegetation der Pflanzen.** Malpighia. T. V. 1891. p. 116. — Naturw. Rundschau. 1892. Nr. 1. S. 16.

Der Einfluß der atmosphärischen Elektrizität auf das Wachsthum der Pflanzen ist ebenso oft behauptet, wie bestritten worden [1]. Verf. gehört zu den

[1] Vergl. *E. Wollny.* Ueber die Anwendung der Elektrizität bei der Pflanzenkultur. München. 1883. Theodor Ackermann.

Vertheidigern dieses Einflusses und veröffentlicht eine Reihe vergleichender Beobachtungen an Lactuca Scariola, Faba vulgaris, Triticum aestivum, Zea Mays und Nicotiana Tabacum, welche sich über die Vegetationsperioden 1887, 1888 und 1890 erstrecken. Vier vollkommen gleiche Metallgefäße von 13 cdm Inhalt wurden mit derselben Erde gefüllt und in jedes eine Pflanze bezw. ein Samen gesäet. Ein Gefäß stand an der freien Luft, ein zweites unter einer Cypresse, ein drittes war mit einem Metallnetz bedeckt, das ebenso wie das Gefäß selbst am Boden durch Glas und Porzellan isolirt war, das vierte endlich hatte ein gleiches Metallnetz, welches mit dem Boden leitend verbunden wurde. Die Temperaturen wurden in der Luft und im Boden dauernd gemessen. Das Resultat dieser Versuche war, daß der Ertrag der an der freien Luft befindlichen Pflanzen in jeder Beziehung die Erträge aller drei anderen Vergleichspflanzen bedeutend übertraf, was im Verein mit früheren Ergebnissen den Verf. zu dem Schluß führte, daß die atmosphärische Elektrizität einen günstigen Einfluß auf die Vegetation der Pflanzen ausübe, daß die Elektrizität des Bodens auf die Keimung der Samen günstig wirke und daß die stärker aufschießende Vegetation der unter Bäumen wachsenden Pflanzen zum größeren Theil von der geringeren, ihnen zugeführten Wärme herrühre. — Die entgegengesetzten Resultate, zu denen unter Anderen *E. Wollny*[1]) gelangt ist, führt Verf. darauf zurück, daß Jener bei seinen Versuchen zu kräftige Ströme angewendet hat. (Letztere Behauptung ist, abgesehen davon, daß die Versuche des Herausgebers sich nur mit der Einwirkung von elektrischen, durch den Boden geleiteten Strömen auf die Vegetation beschäftigten, insofern nicht richtig, als neben stärkeren auch ganz schwache Ströme, wie solche durch an den Enden der Parzelle in die Erde gesenkte und in der Luft durch einen Metalldraht verbundene Kupfer- und Zinkplatten erzeugt werden, in Anwendung kamen. *D. H.*[1])

L. H. Bailey. **Einige vorläufige Studien über den Einfluß des elektrischen Bogenlichts auf Gewächshauspflanzen.** Cornell University. Agric. Experiment. Station. Bulletin, 30. Aug. 1891. Ithaca. N. Y. 1891.

Verf. kultivirte in einem Gewächshause, welches in zwei Hälften getheilt war, von denen die eine durch gewöhnliches Tageslicht, die andere durch das Licht einer in der Mitte aufgestellten Bogenlampe während der ganzen Nacht oder eines Theils derselben beleuchtet war, verschiedene Gartengewächse und stellte den Einfluß der verschiedenen Belichtung auf das Wachsthum durch Messungen der Pflanzen, durch Wägungen der Produkte, Bestimmungen der Blüthedauer, zum Theil durch chemische Analyse der Pflanzentheile fest. Die Experimente zerfallen in 3 Reihen: 1) mit nacktem elektrischem Licht, welches die ganze Nacht einwirkt, 2) mit bedecktem elektrischen Licht — die Bogenlampe ist mit einer Glaskugel versehen —, 3) mit elektrischem Licht, welches nur einen Theil der Nacht die Pflanzen beleuchtet.

Mit wenigen Ausnahmen wurden die Pflanzen durch das elektrische Licht in ihrem Wachsthum nachtheilig beeinflußt. Meist war das Wachsthum der

[1] Diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 88.

Stengel befördert, jenes der Blätter vermindert, eine Erscheinung, welche der des Etiolements analog ist. Die Wurzeln, z. B. von Radieschen, waren bei den im Tageslicht gewachsenen beträchtlich größer als bei jenen Pflanzen, die in der Nacht außerdem elektrisches Licht erhalten hatten. Bei Blüthenpflanzen (Heliotrop, Petunia, Primuta, Verbena, Chrysanthemum, Fuchsia etc.) war die Blüthezeit meist abgekürzt, die Ausbildnng der Blüthen beeinträchtigt, mit einigen Ausnahmen. Trotz dieser zum größten Theil zu Ungunsten der Elektrokultur sprechenden Versuchsresultate gelangt Verf. am Schlusse seiner Abhandlung zu einer zumeist gegentheiligen Auffassung, wie folgende Zusammenfassung der Ergebnisse in wörtlicher Uebersetzung zeigt:

Es ist unmöglich, aus obigen Untersuchungen viele endgültige Schlüsse zu ziehen. Die vielen widersprechenden und unbestimmten Resultate zeigen, daß bei verschiedenen Pflanzen und unter verschiedenen Bedingungen sich ganz wesentliche Abweichungen ergeben. Einige Punkte sind aber immerhin klar: das elektrische Licht befördert die Assimilation, beschleunigt oft Wachsthum und Reife und ist im Stande, in Früchten natürliche Farben und Wohlgeschmack hervorzubringen, auch verleiht es den Blumen oft intensivere Farben und vermehrt die Produktion der Blumen. Die Versuche beweisen, daß zeitweilige Dunkelheit für das Wachsthum und Entwickelung der Pflanzen nicht nothwendig ist. Man kann daher mit vollem Recht annehmen, daß das elektrische Licht beim Wachsthum der Pflanzen mit Vortheil angewandt werden könne. Nur handelt es sich eben darum, die bestehenden Schwierigkeiten zu überwinden, wovon die größte diejenige ist, daß bei gewissen Spezies eine zu schnelle Reife erzeugt wird in der Nähe des Lichtes, in Kürze, allen individuellen Verhältnissen die nöthigen Bedingungen praktisch anzupassen. So weit haben wir allerdings mehr schädliche als wohlthätige Einflüsse gefunden; das beweist aber nur, daß wir auf dem Wege sind, endgültige Thatsachen bezüglich des gesammten Einflusses von elektrischem Licht auf die Vegetation festzustellen; und in einigen Fällen, namentlich bei unseren Lattich-Pflanzen, hat das Licht sich bereits von Nutzen erwiesen.

Die Versuche geben zu vielen physiologischen Betrachtungen Anlaß, doch liegt es nicht im Bereich dieser Abhandlung, darauf näher einzugehen. Nur zwei oder drei derselben mag Erwähnung geschehen. Es ist eine bekannte Thatsache, daß Pflanzen während der Nacht Ruhe bedürfen, jedoch nicht in der Weise, wie das bei den Thieren der Fall ist. Die Pflanzen haben sich einfach den Bedingungen des mit Dunkelheit wechselnden Tageslichtes angepaßt und während des Tages assimiliren sie, d. h. sie nehmen ihre Nahrung ein; während der Nacht, wo jede Assimilation nothwendiger Weise aufhören muß, verwandeln sie die Nahrung in Wachsthum. Sie üben also nichts weiter als eine individuelle Arbeitstheilung. Es besteht kein eigentlicher Grund dafür, daß Pflanzen in vollem Lichte nicht sollten wachsen können, und thatsächlich wachsen sie dabei, nur erfolgt gewöhnlich der größere Theil des Wachsthums während der Nacht. Ist das Licht beständig, so wachsen sie auch mehr oder weniger ununterbrochen fort, je wie es die Bedingungen erfordern, und wie man es bei den Pflanzen während der langen Tage der arktischen Regionen beobachten kann, oder bei unseren, beständigem Lichte ausgesetzten Pflanzen.

Man sollte daher glauben, daß das elektrische Licht Pflanzen von großem Umfange und beträchtlicher Frühreife erzeugen müsse, weil dasselbe den Pflanzen auch während der Nacht die Assimilation gestattet, ohne sie im Wachsthum zu behindern. Es kommen aber noch andere bisher unbekannte Bedingungen in Frage, welche erst studirt werden müssen.

Unsere Rettige und viele andere Pflanzen entwickelten sich unter dem Einflusse des Lichtes schneller, aber schmächtiger. Angestellte Beobachtungen und chemische Untersuchungen zeigten, daß ein größerer Grad von Reife erlangt worden war. Vielleicht haben sie zu schnell assimilirt, vielleicht waren die Funktionen der Pflanze beendigt, ehe sie Zeit hatte, ihr gewohntes Wachsthum zu Ende zu führen. Vielleicht kommen auch die sehr brechbaren und unsichtbaren Strahlen der elektrischen Lampe in Frage. Wahrscheinlich lassen sich aus dieser letzteren Vermuthung viele, wenn nicht alle der schädlichen Einflüsse des nackten Lichtes erklären, denn das Dazwischenstellen einer hellen Glasscheibe bewirkt wahrscheinlich, daß diese höchst brechbaren Strahlen absorbirt oder aufgehalten werden. Die guten Resultate, welche die Anwendung einer Kugel oder Glasscheibe begleiten, beweisen überdies, daß die schädlichen Einflüsse nicht aus irgend welchen Gasen, welche aus der Lampe aufsteigen könnten, entspringen, wie dies von einigen Beobachtern angenommen wurde. Bei unsern eigenen Untersuchungen ist kein bemerkbarer Geruch von aus der Verbrennung entspringenden Gasen konstatirt worden. Auch könnte man hinzufügen, daß die Treibhäuser der Handelsgärtnereien, ebenso wie die unsrigen, nicht so dicht schließen, um diese Gase in solchen Mengen, daß sie den Pflanzen schaden könnten, aufzuhalten.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß im Leben der Pflanzen gewisse Zeiten bestehen, in denen sich das elektrische Licht besonders nützlich erweist. Viele Versuche haben gezeigt, daß das Licht schädlich wirkt in jener kritischen Zeit, wo das Pflänzchen seinen Halt am Samenkorn verliert und anfängt, sich allein zu entwickeln, während eine spätere Anwendung des Lichtes von guten Resultaten begleitet war. Dieser letztere Punkt scheint durch die von *Dehérain* erhaltenen Resultate widerlegt zu werden, doch muß bemerkt werden, daß jene Versuche *Dehérain*'s nicht unter den besten normalen Bedingungen angestellt wurden.

Im großen Ganzen neige ich *Siemens*' Ansicht zu, daß der elektrischen Gartenbaukunst eine Zukunft vorbehalten ist *(? D. Ref.)*[1]. *E. W.*

O. Mattirolo und ***L. Buscalioni*. Die Samenschale der Papilionaceen im Mechanismus der Respiration.** Malpighia. T. IV. 1890. — Arch. ital. de biologie. T. XV. 1891. Fasc. I. — Botan. Ztg. 1891. Nr. 45. S. 753.

Durch die Untersuchungen *Nobbe*'s und *Detmer*'s war nachgewiesen worden, daß bei der Quellung der Samen im Wasser drei Perioden sich unterscheiden lassen, wenn durch geeignete Versuchsanstellung die Schwankungen des Wasserspiegels gemessen werden. Die Steigröhre zeigt in der ersten, $^1/_2$ bis 2 Stunden dauernden Periode der Quellung eine Hebung an, der in der zweiten, ungefähr

[1]) Vergl. *E. Wollny:* Ueber die Anwendung der Elektrizität bei der Pflanzenkultur. München. 1883. Theodor Ackermann. S. 36 u. 37.

einstündigen eine Senkung auf den ursprünglichen Stand oder auch unter denselben folgt. In der dritten Periode endlich beginnt eine neue und andauernde Hebung. Die Verff. haben zunächst diese Beobachtungen wiederholt und bestätigt, fügen aber denselben Versuche mit geschälten, halbirten und solchen Samen hinzu, deren Mikropyle oder andere Theile durch Lack verschlossen waren. Die Experimente wurden mit Vicia Faba, Phaseolus, Pisum und Lupinus ausgeführt nach der Methode *Nobbe's* und *Detmer's*. Halbirte Samen und Kotyledonen zeigen einen Ausfall der ersten Periode, indem sogleich eine schwache Senkung des Wassers eintrat, der dann bald die dritte Periode folgte. Intakte Samen, deren Mikropyle mit Lack verschlossen war, ergaben umgekehrt eine viel stärkere Hebung des Wassers in der ersten Periode als normale Samen, später folgte dann ein dem letzteren analoges Verhalten. Aus diesen und einigen anderen Versuchen folgern die Verff., daß die Hebung in der ersten Periode durch eine Volumenzunahme der Samen hervorgerufen wird, die selbst wieder bedingt ist durch eine Quellung der Samenschale und eine hierdurch bewirkte passive Erweiterung der lufthaltigen Hohlräume der Samen. Da das Wasser in diese zunächst noch nicht eindringt, so wird die hier eingeschlossene Luft verdünnt. Erst in der zweiten Periode tritt das Wasser durch die Mikropyle in die gedehnten Hohlräume ein, und dies führt den Fall im Steigrohre herbei. Auf eine Analyse der dritten Periode gehen die Verff. nicht ein.

Weiterhin behandeln dieselben die Frage, wie sich die Samen in der Natur, im Erdboden verhalten, wo sie ja anderen Bedingungen ausgesetzt sind als in den Quellungsversuchen. Die Verff. zeigen, daß auch hier die Samenschalen in Berührung mit dem feuchten Boden aufquellen und eine Erweiterung der Hohlräume hervorrufen. In diese strömt nun durch die vor direkter Berührung mit den Bodentheilchen geschützte Mikropyle Luft ein, an Stelle des bei den Quellungsversuchen eintretenden Wassers. Da der Grad der Quellung bei den Samenschalen und damit die Dehnung der Hohlräume in ähnlicher Weise von dem Wassergehalt des Bodens abhängt wie die Athmungsthätigkeit des Samens, so glauben die Verff. in den geschilderten Erscheinungen eine bemerkenswerthe Regulirung der Luftzufuhr in das Innere des Samens aufgedeckt zu haben.

Es ist nicht zu verkennen, daß die Verff. den Keimungsprozeß von einer bisher wohl nicht beachteten Seite beleuchtet haben. Allerdings läßt sich aus der von den Verff. selbst als vorläufig bezeichneten Mittheilung noch nicht die Tragweite ihrer Ansicht ermessen.

***C. Steinbrinck.* Zur Theorie der hygroskopischen Flächenquellung und -Schrumpfung vegetabilischer Zellmembranen, insbesondere der durch sie hervorgerufenen Windungs- und Torsionsbewegungen.** Bonn. 1891. F. Cohen. — Bot. Zeitung. 1891. Nr. 42. S. 701.

Den Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit bildete die mechanische Erklärung der durch die Austrocknung hervorgerufenen Windungsbewegungen gewisser asymmetrisch gebauter Zellen und eine theoretische Bestimmung des hygroskopischen Verhaltens von Zellkomplexen, deren Elemente sich isolirt gedacht, beim Austrocknen theilweise oder sämmtlich drehen müßten. Durch die

exakte Lösung dieser Probleme hat Verf. einen tieferen Einblick in die Mechanik der hygroskopischen Torsionen ermöglicht. Außerdem enthält die Arbeit des Verf. aber auch verschiedene allgemeine Erörterungen über die bei der Quellung eintretenden Verschiebungen, die auf das Wesen der Quellung und auf die Konstitution der pflanzlichen Zellmembranen einiges Licht zu werfen im Stande sind.

Natürlich waren bei derartigen Deduktionen umfangreiche mathematische Auseinandersetzungen nothwendig; Verf. hat sich jedoch in dankenswerther Weise bemüht, die Anwendung höherer Mathematik, soweit dies ohne Beeinträchtigung des Resultates thunlich schien, zu vermeiden, und durch zahlreiche, durch schöne Zeichnungen illustrirte Konstruktionen das Verständniß der theoretischen Betrachtungen möglichst erleichtert.

Aus dem speziellen Inhalt der Arbeit, der sich schwer in ein kurzes Referat zusammenfassen läßt, seien hier nur folgende Sätze hervorgehoben:

Unter den bisher über die Konstitution der pflanzlichen Zellmembranen aufgestellten Hypothesen ist vom Standpunkte der Quellungserscheinungen aus nur die *Nägeli*'sche Mizellartheorie als zulässig zu bezeichnen, namentlich die sogen. Dermatosomen-Theorie von *Wiesner* läßt sich mit den Quellungserscheinungen nicht in Einklang bringen.

Bei der durch Wasserentziehung wieder rückgängig zu machenden Quellung findet eine einseitige Verkürzung der Zellhaut nicht statt.

Das Quellungsminimum fällt bei den pflanzlichen Zellmembranen in die Richtung der etwa vorhandenen Streifungen oder Tüpfel, das Quellungsmaximum in die Radialrichtung. Es hat dies höchst wahrscheinlich darin seinen Grund, daß die die Membran zusammensetzenden Mizellen in der Richtung der Streifungen den größten Durchmesser besitzen.

Die vom Verf. z. B. in den Grannen von Erodium nachgewiesenen eigenartigen dorsiventralen Zellen, die eine zur Längsaxe unsymmetrische Schrägstreifung zeigen, erleiden im Allgemeinen bei der Schrumpfung eine exzentrische Drehung (Windung).

Zellkomplexe, die tordirende Zellen enthalten, werden bei dem Austrocknen ebenfalls Torsionen erleiden müssen und zwar nehmen die Torsionsgrößen von Zellbündeln kreisförmigen oder ähnlich-rechteckigen und elliptischen Querschnittes, die aus gleichförmigen zartwandigen tordirenden Elementen zusammengesetzt sind, proportional ihrem Querschnitt ab.

Steht zum Aufbau eines Zellbündels einerseits eine bestimmte Anzahl gleichartiger tordirender, andererseits ein gewisses Quantum zarterer nicht-tordirender Gewebselemente zur Verfügung, so ist diejenige Vertheilung dieser Elemente für eine energische Torsion am günstigten, bei der die tordirenden Elemente dem Zentrum des Bündels am nächsten gerückt sind.

Bilden die drehenden Momente eine oder mehrere ringförmige Zonen, so wird die Torsion durch Verdickung der äußeren Tangentialwandungen derselben gefördert.

***H. de Vries*. Monographie der Zwangsdrehungen.** *Pringsheim*'s Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XXIII. H. 1/2. S. 13—206.

Als Zwangsdrehungen bezeichnete bekanntlich *A. Braun* gewisse Torsionen, welche bei vielen Pflanzen eintreten, wenn die normal paarige oder quirlige Anordnung der Blätter in spiralige übergeht, im Falle die in spiraliger Anordnung sich folgenden Blätter an der Basis einseitig, der Spirale folgend, zusammenhängen. Da hierdurch der Stengel in seiner allseitigen Streckung behindert ist, nimmt er durch ungleiche Dehnung eine spiralige Drehung an, welche soweit gehen kann, daß die Blätter mit senkrecht gestellter Basis eine einzige Reihe bilden. Der im Längenwachsthum gehindere Stengel erhält auch oft noch sonstige Deformationen.

Verf. hat diese Erscheinung einer ausführlichen Untersuchung unterworfen und fand, daß die Grundzüge der mechanischen Ursache von *Braun* richtig gegeben wurden. Der Beweis bezieht sich zunächst auf die Untersuchung einer vom Verf. gezüchteten Rasse mit erblicher Zwangsdrehung (Dipsacus silvestris torsus). Er zeigt an diesem Beispiele, wie richtig, ja unentbehrlich die Herstellung erblicher, teratologischer Rassen zur eingehenden Erforschung und Aufklärung von Bildungsabweichungen ist, da nämlich nur auf diesem Wege ein reichliches und zu physiologischen Experimenten verwendbares Material zu erhalten ist.

Bei dem naturgemäß in der Hauptsache morphologischen Charakter der Untersuchung mag obiger Hinweis an dieser Stelle genügen. *C. K.*

G. Haberlandt. **Das reizleitende Gewebe der Sinnpflanze.** Leipzig. W. Engelmann. 1890. — Botan. Zeitung. 1891. Nr. 44.

Verf. entdeckte im Siebtheile der Gefäßbündel in Stamm, Blatt und Blattstiel, sowie Gelenkpolster von Mimosa pudica eigenthümliche Zellformen, sehr lange, schlauchförmige Zellen, deren Querwände mit einem großen Tüpfel versehen sind. Die Schließhaut des Tüpfels ist fein porös, die Porenkanäle sind von Plasmafäden durchsetzt. Verf. betrachtet dies Gewebe als geeignet für Fortleitung der Reize, aber nicht in der Weise, daß die Protoplasmaverbindungen die Bahn der Reizfortpflanzung bildeten, indem die Reizfortpflanzung auch erfolgte, als kurze Blattstielstrecken durch heißen Wasserdampf getödtet worden waren, also eine Unterbrechung der Verbindung durch lebendes Protoplasma stattfand. Vielmehr wurde durch den Reiz nur eine Flüssigkeitsströmung ausgelöst und hierdurch die Bewegung verursacht. Die bewegte Flüssigkeit sei der schleimähnliche Inhalt der erwähnten Zellschläuche. Das reizleitende Gewebe ist allerdings mit dem reizbaren Parenchym des Gelenkpolsters durch Protoplasmafäden nicht verbunden, so daß es sich frägt, wie sich ein Reiz quer durch die Gewebe des Gelenkpolsters fortpflanzen kann. Verf. nimmt an, daß die Kontraktion der Zellwände der Reizleitungszellen, welche eintritt, wenn ihr Turgor nach Verletzungen des Blattstiels oder Stengels plötzlich sinkt, auf das benachbarte Kollenchym einen kräftigen Zug ausübe, der sich bis auf die innerste Schichte des reizbaren Parenchyms fortpflanze und bei genügender Intensität die Reizbewegung auslöse; die unter Wasseraustritt sich kontrahirenden Zellen bewirkten durch die von ihnen ausgehende Zerrung die Reizung aller übrigen reizbaren Gelenkzellen.

W. Palladin. **Ergrünen und Wachsthum etiolirter Blätter.** Ber. d. deutschen bot. Ges. Bd. IX. 1891. S. 229—232.

A. Wieler. **Ueber die Beziehung des Holzes zur Wasserversorgung der Pflanze.** Allgem. Forst- und Jagdzeitung. Von *Lorey* und *Lehr*. 1891. August-Heft.

A. Burgerstein. **Uebersicht der Untersuchungen über die Wasseraufnahme der Pflanzen durch die Oberfläche der Blätter.** XXVII. Jahresber. d. Leopoldstädter Real- und Obergymnasiums in Wien. Wien. 1891.

O. Blutschli. **Ueber die Struktur des Protoplasmas.** Verhandlg. d. deutschen zool. Ges. 1891. S. 14.

C. Correns. **Zur Kenntniß der inneren Struktur der vegetabilischen Zellmembranen.** *Pringsheim*'s Jahrb. f. wissensch. Bot. Bd. XXIII. 1891. S 254—338.

A. Zimmermann. **Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Pflanzenzelle.** Heft II. 1891. Tübingen. Laupp'sche Buchhandlung.

III. Agrar-Meteorologie.

Mittheilungen aus dem agrikulturphysikalischen Laboratorium und Versuchsfelde der technischen Hochschule in München.

LXIV. Untersuchungen über die Bildung und die Menge des Thaues.

Von Professor Dr. **E. Wollny** in München.

Während die bisher über die nächsten Ursachen der Thaubildung aufgestellten Theorieen [1]) fast ohne Ausnahme in der durch verschiedene Beobachtungen erhärteten Anschauung übereinstimmen, daß eine Ablagerung des in Rede stehenden Niederschlages nur dann auf den an der Erdoberfläche befindlichen Körpern eintreten könne, wenn letztere bei wolkenlosem Himmel in Folge nächtlicher Strahlung unter den Thaupunkt der nächst gelegenen Luftschicht abgekühlt werden und gleichzeitig die unteren Schichten der Atmosphäre sich im Ruhezustande befinden, weichen dieselben hinsichtlich des Ursprungs des sich absetzenden Thauwassers wesentlich, und zwar nach zwei Richtungen von einander ab. Während nämlich auf der einen Seite (*Le Roy*, *Wells*, *Melloni*, *Jamin*) die Ansicht vertreten wird, daß sich der Thau aus dem Wasserdampf der Luft an abgekühlten terrestrischen Gegenständen niederschlage («niederfalle»), wird von anderen Forschern [zuerst von *Gersten* 1833, in den dreißiger Jahren unseres Jahrhunderts von *Fusinieri* und *Zantedeschi*, neuerdings

[1]) Vergl. die von *Ciro Chistoni* verfaßte kritische Zusammenstellung der verschiedenen Theorieen (von *Aristoteles* bis *Wells*) in den Annali della meteorologia. 1881.

von *Cantoni, Chistoni,*[1]) *Stockbridge*[2]) und *Aitken*[3]) geltend gemacht, daß der Thau ausschließlich oder doch zu einem großen Theil aus dem vom Boden aufsteigenden Wasserdampf herstamme und somit die Mitwirkung der Bodenfeuchtigkeit zu dem Zustandekommen der Erscheinung nothwendig sei.

Angeregt durch die Versuche von *Stockbridge* hat sich Referent veranlaßt gesehen, durch eigene, in den Jahren 1880—83 angestellte Beobachtungen einen Beitrag zur Aufklärung der bezeichneten Widersprüche zu liefern. Die Absicht, die damals genommenen Ergebnisse in einigen Punkten zu vervollständigen, mußte aufgegeben werden, nachdem das Versuchsfeld so weit vor die Stadt verlegt wurde, daß die Ausführung der bezüglichen Versuche mit außerordentlichen Schwierigkeiten verknüpft gewesen wäre. Wenn sonach die nächstfolgenden Mittheilungen hinsichtlich einiger Detailfragen auch der wünschenswerthen Vollständigkeit entbehren, so geschieht dadurch doch denselben in den wesentlichsten Punkten kein Abbruch und in diesem Sinne dürften sie wohl geeignet erscheinen, zur Entscheidung der bestehenden Kontroverse einen Beitrag zu liefern.

Vor und während der Versuche wurden einige

I. Beobachtungen, ohne Messung der Thaumenge

gemacht, deren Ergebnisse, behufs Orientirung, zunächst hier eine Stelle finden mögen.

Von allgemeinem Interesse dürfte die hier vorerst anzuführende Thatsache sein, daß in allen Fällen, wo Thaubildung eintrat, nicht allein die Menge des Thaues an den Pflanzen **derselben Art,** dem bloßen Augenschein nach, eine sehr verschiedene war, sondern daß auch nicht selten der Niederschlag, unter gleichen Umständen, nur an gewissen Stellen des Feldes stattgefunden hatte, während er an anderen ausblieb. So wurde zu wiederholten Malen beobachtet, daß der an der 2 m hohen Bretterplanke im Süden des Versuchsfeldes sich in einer Länge von über 100 m hinziehende, ca. 1 m breite, während des größten Theils des Tages im

---

1) Diese Zeitschrift. Bd. V. 1882. S. 342.
2) Diese Zeitschrift. Bd. III. 1880. S. 110.
3) Diese Zeitschrift. Bd. IX. 1886. S. 162.

Schatten liegende Grasstreifen sich mehr oder weniger stark mit Thau bedeckte, während ein ebensolcher Grasstreifen, welcher der Richtung der Nordplanke folgte und während heiterer Tage den ganzen Tag über der Insolation ausgesetzt war, nur spärlich, häufig gar nicht bethaut wurde.

In einem zweiten Fall wurde verschiedentlich folgende Wahrnehmung im Jahre 1880 gemacht. Auf einer 10 qm umfassenden Parzelle, welche aus einer 12 cm mächtigen, auf Geröll aufruhenden Ackerschicht (humoser Kalksand) bestand, war Hafer breitwürfig angebaut worden. In der Mitte war zu einem anderweitigen Zweck ein Zinkgefäß von 400 qcm Querschnitt und mit einer 40 cm hohen Schicht Ackererde beschickt bis zum Rande in den Boden versenkt und gleichfalls mit Hafer besäet worden. An verschiedenen Tagen konnte man nun sehen, besonders sehr deutlich bei Sonnenaufgang, wie der Hafer in dem Gefäß dicht mit Thautropfen bedeckt war, während derjenige in der Umgebung nicht eine Spur davon aufwies.

Auf einen dritten Fall übergehend, wäre die weitere, im Jahre 1882 zu verschiedenen Zeiten konstatirte Thatsache anzuführen, daß Grasflächen, welche in Kästen von verschiedener Neigung gegen den Horizont (10,20 und 30°) bei südlicher Exposition hergestellt waren, sich mit um so geringeren Thaumengen bedeckten, je steiler die Abdachung war.

In den Jahren 1880 und 1882 hatte man, wie hier an vierter Stelle hervorgehoben sein mag, zu verschiedenen Malen Gelegenheit, zu beobachten, daß das Gras, welches vor einiger Zeit abgemäht worden war, in stärkerem Grade bethaut wurde als das stehengebliebene.

Fünftens käme, soweit es sich um Thaubildung auf Pflanzen handelt, noch folgende Erscheinung in Betracht. Neben einer schon seit mehreren Jahren mit Gras bestandenen Fläche wurde 1880 eine ebensolche, bisher vom Anbau von Ackerpflanzen benutzte, durch Ansamung hergestellt. In Bezug auf die Ablagerung des Thauwassers auf dem älteren und jüngeren Grase machte sich während des Sommers nun vielfach der Unterschied geltend, daß letzteres sich reichlicher mit Thautropfen bedeckte als jenes.

Ueberblickt man diese Thatsachen, so wird man zugeben müssen, daß dieselben wenig dazu angethan sind, der gegenwärtig am meisten verbreiteten Anschauung, daß der Thau aus dem Wasserdampf der Luft über den Pflanzen niedergeschlagen werde, das Wort zu reden, weil damit die auffälligen Unterschiede in der Thauablage, wie solche in den angeführten Fällen beobachtet wurden, nicht erklärt werden könnten. Bei näherem Eingehen auf die möglichen Ursachen jener Erscheinungen wird man vielmehr dazu gedrängt, für den Thauniederschlag unter den vorliegenden Umständen die Bodenfeuchtigkeit in Anspruch zu nehmen. Um dies zu verstehen, hat man vor Allem die jeweiligen Wassermengen des Bodens bei verschiedener Lage und die bezüglichen Einwirkungen der Pflanzendecke, sowie die von letzterer an die Atmosphäre verdunsteten Wassermengen in Betracht zu ziehen.

Für die Mitwirkung der Bodenfeuchtigkeit in dem zuerst angezogenen Falle spricht zunächst die Thatsache, daß die Pflanzen im Schatten ungleich geringere Mengen von Wasser verdunsten als bei ungehinderter Bestrahlung. Aus diesem Grunde wird der Boden im ersteren Fall sich feuchter erhalten als im letzteren. So wurde in der That gefunden der

	Wassergehalt des Graslandes im Schatten gelegen:	Wassergehalt des Graslandes in voller Beleuchtung gelegen:
19. Juni 1880	20,36 %	16,71 %
4. September 1880	16,82 »	11,23 »
14. Juli 1881	15,13 »	9,89 »
9. August 1881	14,06 »	10,11 ».

Aus diesen Zahlen läßt sich, im Vergleich mit den obigen Beobachtungen über die Thaumenge, das Bestehen eines Zusammenhanges zwischen letzterer und der Bodenfeuchtigkeit deutlich genug erkennen.

In analoger Weise ergeben sich auch in dem zweiten, oben angeführten Beispiel derartige Beziehungen, wenn man berücksichtigt, daß die flache Ackerkrume (12 cm) durch den Hafer leicht an Wasser erschöpft wurde, wohingegen den Pflanzen in dem Gefäß in Folge ungleich größerer Mächtigkeit der Vegetationsschicht weit ausgiebigere Wassermengen zur Verfügung standen.

Für die Mitbetheiligung des Bodenwassers an der Bildung des Thaues würde auch der dritte Fall genügende Anhaltspunkte liefern, nachdem

anderweitig ausführlich nachgewiesen worden ist[1]), daß der Wassergehalt des Bodens unter übrigens gleichen Verhältnissen um so geringer ist, je stärker die Neigung der Fläche.

Daß auch in dem vierten Fall Bodenfeuchtigkeit und Thaumenge in auffälligem Zusammenhang stehen, läßt die bei einer anderen Gelegenheit näher begründete Thatsache erkennen, daß der Boden während Trockenperioden durch das stehenbleibende Gras mehr Wasser verliert als durch das abgeschnittene[2]).

Schließlich ist auch die Beobachtung, daß sich der Thau auf dem jüngeren Grase reichlicher als auf dem älteren bildete, ungezwungen auf in gleichem Sinne bestehende Unterschiede in dem Wasservorrath des betreffenden Bodens zurückzuführen, weil, wie früher vom Referenten nachgewiesen wurde[3]), jüngere Pflanzen die Bodenfeuchtigkeit in geringerem Grade in Anspruch nehmen als ältere.

Neben diesen Beobachtungen, aus welchen sich mit voller Deutlichkeit ganz gesetzmäßige Beziehungen der Bodenfeuchtigkeit zur Thaumenge ergeben, wurden auch solche bei leblosen Gegenständen angestellt, welche zu einem ähnlichen Ergebniß führten. Im Jahre 1880 wurden vier aus starken, 25 cm hohen Brettern hergestellte Holzrahmen, von denen jeder durch Querwände in je drei Fächer von 1 qm Grundfläche getheilt war, derart in die Erde gegraben, daß der obere Rand ca. 2 cm die mit Gras bedeckte umgebende Fläche überragte, während der untere direkt auf dem aus durchlässigem Geröll bestehenden Untergrunde aufruhte. Die auf diese Weise hergerichteten kastenförmigen Vertiefungen wurden mit vier in ihrem physikalischen Verhalten verschiedenen Bodenarten (Lehm, Kalk-, Quarzsand und Torf) möglichst gleichmäßig gefüllt. Bei jeder derselben entstanden somit je drei Parzellen, von denen die eine mit anderwärts geschälten Rasenstücken dicht belegt, die zweite nackt blieb, während die dritte mit einer $^1/_2$ cm starken Schicht aus kleingeschnittenem Stroh bedeckt wurde. Auf den so hergerichteten Parzellen, welche zu Versuchen über Bodentemperatur und Feuchtigkeit dienten, wurde im Jahre 1880, besonders aber 1881 häufig die Wahrnehmung gemacht, daß nach längerer Trockenheit das Gras gegebenen

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. IX. 1886. S. 3—10.
[2]) Diese Zeitschrift. Bd. X. 1887. S. 315—320.
[3]) Diese Zeitschrift. Bd. X. 1887. S. 292.

Falls keinen Thau zeigte, während das auf dem Boden liegende Stroh dicht mit Thautropfen bedeckt war. Diese Unterschiede können auch hier wieder auf solche in der Bodenfeuchtigkeit zurückgeführt werden, da unter den bezeichneten Witterungsverhältnissen der Boden unter den Pflanzen austrocknet, die Feuchtigkeit unter der Strohdecke aber mehr oder weniger konservirt wird, in Folge der durch diese beschränkten Verdunstung[1]). Wie bedeutend selbst bei feuchter Witterung die betreffenden Unterschiede in dem Wassergehalt der Böden sein können, beweisen folgende Mittelzahlen (aus je 3 Versuchen):

1880.	Wassergehalt des Bodens (Gew. Proz.).		
	Gras.	Nackt.	Strohdecke.
Torf	41,87	56,25	59,60
Lehm	16,10	19,15	19,70
Kalksand	10,87	13,41	14,64
Quarzsand	2,83	4,30	4,68.

Eine weitere hierher gehörige Beobachtung war folgende. Glasplatten, welche auf den Boden ausgelegt wurden, bedeckten sich an der Unterseite stark mit Thau, zeigten hingegen auf der oberen Fläche nur einen schwachen Hauch. In verschiedener Höhe über dem Erdreich aufgestellt, trat die gleiche Erscheinung hervor, es nahm jedoch der Niederschlag auf der Unterseite mit der Höhe der Aufstellung ab.

Wenngleich solche und ähnliche Beobachtungen die Betheiligung der Bodenfeuchtigkeit an der Bildung des Thaues wahrscheinlich machten, so fehlte doch der ziffermäßige Nachweis für diese Wechselwirkungen. Um diesen zu liefern, wurden vom Referenten die nachfolgend beschriebenen Experimente zur Ausführung gebracht.

II. Die Bildung und Menge des Thaues auf Pflanzen.

Der direkten Messung der Thaumenge auf Pflanzen stellen sich dadurch unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen, daß die Sammlung des Niederschlages unausführbar ist, und die mit bethauten Pflanzen bestandenen Flächen eine Gewichtsabnahme während der Thaubildung erfahren, eine Erscheinung, die nicht allein in den ver-

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. X. 1887. S. 293.

schiedenen Versuchen des Referenten ohne Ausnahme hervortrat, sondern sich auch in jenen von *Aitken*[1]) bemerklich machte. Unter solchen Umständen mußte ein Verfahren zur indirekten Bestimmung des Thauwassers angewendet werden.

Zu diesem Zweck wurde eine größere Anzahl von Blumentöpfen, welche äußerlich glasirt waren, mit gleichen Gewichtsmengen Erde beschickt und durch Ansaat mit einer Pflanzendecke versehen. Der Wassergehalt des Bodens wurde durch täglichen Ersatz des verdunsteten Wassers zunächst auf gleicher Höhe erhalten und zwar auf 50⁰/₀ derjenigen Wassermenge, welche der Boden im Maximum zu fassen vermochte. Nachdem die Pflanzen sich kräftig entwickelt hatten, wurde täglich die Verdunstungsmenge durch Wägen genau ermittelt und hiernach jene Töpfe für die Messung der Thaumengen ausgesucht, bei welchen die abgegebenen Wassermengen gut übereinstimmten. Die Kulturgefäße befanden sich, so lange sie nicht zu den Thaumessungen verwendet wurden, in einem seitlich geöffneten, mit einem Glasdach versehenen Verschlage und waren somit vor dem Zutritt der atmosphärischen Niederschläge geschützt.

In den Versuchsreihen 1 und 2 sub A wurde vor Beginn der Thaumessungen in zwei Töpfen der Wassergehalt des Bodens auf 75 % der Maximalwassermenge gebracht, in zwei anderen auf 50 % erhalten, während man in zwei weiteren Töpfen durch Sistirung des Ersatzes die Feuchtigkeitsmengen auf 25 % sich vermindern ließ. In diesem Zustande wurden die sechs mit Gras bestandenen Gefäße dauernd erhalten.

Bei den Versuchen sub B blieb der Boden in den Gefäßen auf einem Wassergehalt von 50 %, indem das verdunstete Wasser täglich wieder ersetzt wurde. Im Uebrigen wurde, wie angegeben, verfahren, d. h. es wurde zuerst eine größere Zahl von Töpfen mit den betreffenden Pflanzen besetzt und unter diesen eine entsprechende Auswahl vorgenommen.

War die Witterung eine derartige, daß während der Nacht ein Thauniederschlag erwartet werden konnte, so wurden die Töpfe in einen aus Brettern hergestellten, bis zum Rande in die Erde einer größeren mit Gras bestandenen Fläche eingegrabenen Kasten gestellt. Das Deck-

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. IX. 1886. S. 162.

brett des letzteren war mit runden, dem oberen Querschnitt der Gefäße angepaßten Löchern versehen, so daß die Bodenoberfläche in den Töpfen mit derjenigen des umgebenden Graslandes in einem Niveau zu liegen kam. Die eine Hälfte der in Vergleich kommenden Gefäße stand vollständig frei, weshalb sich unter geeigneten Umständen auf den in denselben befindlichen Pflanzen ungehindert Thau bilden konnte, während die andere Hälfte der Töpfe behufs Verhinderung der nächtlichen Strahlung mit einem mit starker Leinwand überspannten, ca. 5 qm großen, horizontal auf Holzstäben, in einer Höhe von 1 m über dem Boden angebrachten Rahmen überdacht war. Durch diese Vorrichtung wurde, wie begreiflich, die Thaubildung auf den Pflanzen verhindert, wogegen die Verdunstung ungehindert von Statten gehen konnte.

Ausgehend von der durch Vorversuche ermittelten Thatsache, daß das Gewicht der Töpfe trotz des Absetzens von Thau auf den Pflanzen in Folge von Verdunstung abnahm, wurde bei der Berechnung der Niederschlagsmenge in der Weise verfahren, daß man diese gleich setzte der Differenz zwischen den von den nicht bethauten und den bethauten Pflanzen verdunsteten Wassermengen. Referent ging hierbei auf Grund vorerwähnter Beobachtung von der Ueberlegung aus, daß die Transpiration aus den Pflanzen durch die Thaubildung sich um jene Quantität Wasser vermindert, welche sich auf den Blättern absetzt, eine Annahme, welche den thatsächlichen Verhältnissen ziemlich genau entsprechen dürfte.

Die Ausführung der Versuche bot manche Unzuträglichkeiten, nicht allein insofern, als die Anwesenheit des Beobachters während des größten Theils der Nacht erforderlich war, sondern auch dadurch, daß sehr viele der Abends eingeleiteten Versuche nicht durchgeführt werden konnten, weil der vorausgesagte Thau ausblieb. Dennoch dürfte die Zahl der Beobachtungen in Rücksicht auf die außerordentliche Uebereinstimmung der Ergebnisse zur Begründung der aus diesen abgeleiteten Schlußfolgerungen genügen.

Die folgenden Tabellen enthalten zunächst die Ergebnisse der für eine Fläche von 1000 qcm berechneten Thaumengen[1]) bei verschiedenem Wassergehalt des Bodens:

[1]) Die Oberfläche des Bodens in den Töpfen betrug 314 qcm.

A. Thaumengen bei verschiedenem Wassergehalt des Bodens.

1. Versuchsreihe (1881).

(Gras.)

Versuch 1. 1.—2. Juli.

Wassergehalt des Bodens in Prozenten der größten Wasserkapazität.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr.	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
75 %	57,3	25,5	31,8	Ab. 8 h.: 18,3° C.
50 »	31,5	9,6	21,9	Mg. 4 h.: 11,2° »
25 »	19,0	0,0	19,0	N. kl. u. r.

Versuch 2. 11.—12. Juli.

75 %	60,5	15,9	44,6	Ab. 8½ h.: 15,1° C.
50 »	44,6	15,9	28,7	Mg. 4 h. : 7,2° »
25 »	19,1	6,3	12,8	N. thlw. leicht bew. u. r.

Versuch 3. 12.—13. Juli.

75 %	122,6	90,8	31,8	Ab. 8 h.: 21,4° C.
50 »	92,3	63,7	28,6	Mg. 4 h.: 12,5° »
25 »	35,0	31,5	3,5	N. kl. u. r.

Versuch 4. 2.—3. August.

75 %	50,9	19,1	31,8	Ab. 8 h.: 19,5° C.
50 »	44,6	15,9	28,7	Mg. 4 h.: 12,7° »
25 »	25,5	6,4	18,1	N. thlw. leicht bed. u. r.

Versuch 5. 26.—27. August.

75 %	149,7	121,0	28,7	Ab. 8½ h.: 19,4° C.
50 »	105,1	89,2	15,9	Mg. 4 h. : 15,0° »
25 »	57,3	50,9	6,4	Bis Mg. kl. u. r.

Versuch 6. 29.—30. August.

75 %	124,2	50,9	74,3	Ab. 7 h.: 13,1° C.
50 »	108,3	57,3	51,0	Mg. 5 h.: 5,3° »
25 »	38,2	19,1	19,1	N. kl. u. r.

Versuch 7. 5.—6. September.

Wassergehalt des Bodens in Prozenten der größten Wasserkapazität.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
75 %	89,2	41,4	47,8	Ab. 7 h.: 15,7° C.
50 »	73,2	28,7	44,5	Mg. 5 h.: 10,6 »
25 »	38,2	19,1	19,1	N. abw. kl. u. bew. u. r.

Versuch 8. 10.—11. September.

Wassergehalt	Ohne Thau	Mit Thau	Thaumenge	Bemerkungen
75 %	85,9	38,2	47,7	Ab. 7 h.: 13,4° C.
50 »	44,6	31,2	13,4	Mg. 5 h: 10,4 »
25 »	35,0	25,5	9,5	Bis Mg. thlw. bew. u. r.

Versuch 9. 13.—14. September.

Wassergehalt	Ohne Thau	Mit Thau	Thaumenge	Bemerkungen
75 %	73,2	3,1	70,1	Ab. 6½ h.: 14,0° C.
50 »	50,9	9,6	41,3	Mg. 5 h. : 7,8 »
25 »	31,2	15,9	15,3	N. meist kl. u. r.

Versuch 10. 20.—21. September.

Wassergehalt	Ohne Thau	Mit Thau	Thaumenge	Bemerkungen
75 %	98,7	9,6	89,1	Ab. 6½ h : 17,5° C.
50 »	73,2	0,0	73,2	Mg. 5 h. : 10,3 »
25 »	38,2	0,0	38,2	N. kl. u. r.

2. Versuchsreihe (1882).

(Gras.)

Versuch 1. 4.—5. Juli.

Wassergehalt	Ohne Thau	Mit Thau	Thaumenge	Bemerkungen
75 %	86,6	22,3	64,3	Ab. 8 h. : 17,5° C.
50 »	77,7	21,7	56,0	Mg. 3½ h.: 7,8 »
25 »	41,1	11,1	30,0	Ab. kl., N. l. überz. u. r.

Versuch 2. 15.—16. Juli.

Wassergehalt	Ohne Thau	Mit Thau	Thaumenge	Bemerkungen
75 %	92,7	6,3	86,4	Ab. 8½ h.: 20,3° C.
50 »	65,9	0,0	65,9	Mg. 3½ h.: 10,4 »
25 »	31,5	1,9	29,6	N. kl. u. r.

Versuch 3. 18.—19. Juli.

Wassergehalt des Bodens in Prozenten der größten Wasserkapazität.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
75 %	68,1	11,8	**56,3**	Ab. $8^1/_2$ h.: 15,9° C.
50 »	53,2	6,3	**46,9**	Mg. $3^1/_2$ h.: 11,6 »
25 »	15,3	0,3	**15,0**	N. kl. u. r.
				Temp. d. Grases u. 3 h.: 8,7 °C.

Relative Feuchtigkeit.

$8^1/_2$ h. p. m. . . . 96,0 2 h. a. m. . . . 95,0
12 h. p. m. . . . 95,2 4 h. a. m. . . . 91,0.

Versuch 4. 19.—20. Juli.

75 %	113,4	56,1	**57,3**	Ab. $8^1/_2$ h.: 18,8° C.
50 »	87,9	46,2	**41,7**	Mg. $3^1/_2$ h.: 11,5 »
25 »	43,9	25,5	**18,4**	N. kl. u. r.
				Temp. d. Grases u. 3 h.: 8,5 °C.

Relative Feuchtigkeit.

$8^1/_2$ h. p. m. . . . 68 12 h. p. m. . . . 100
10 h. p. m. . . . 71 4 h. p. m. . . . 100.

Versuch 5. 20.—21. Juli.

75 %	94,3	40,7	**53,6**	Ab. 9 h. : 18,1° C.
50 »	73,2	28,0	**45,2**	Mg. $3^1/_2$ h.: 12,7 »
25 »	43,9	19,1	**24,8**	N. kl. u. r.
				Temp. d. Grases u. 3 h.: 9,2 °C.

Relative Feuchtigkeit.

9 h. p. m. . . . 100 12 h. p. m. . . . 80
10 h. p. m. . . . 100 4 h. p. m. . . . 99.

Mittel der Ergebnisse.

Relative Bodenfeuchtigkeit	75 %	50 %	25 %.
Thaumenge:			
1. Versuchsreihe	**49,77**	**34,72**	**16,10**
2. »	**63,58**	**51,14**	**23,56**
Insgesammt	**54,37**	**40,19**	**18,59.**

Diese Zahlen zeigen ohne Weiteres, **daß die Menge des auf Pflanzen sich absetzenden Thaues unter sonst gleichen Verhältnissen um so größer ist, je höher der Wassergehalt des Erdreiches.**

Zur Erklärung dieser Erscheinung sind folgende Thatsachen heranzuziehen.

Sobald die Insolation nach dem Verschwinden der Sonne unter dem Horizont aufgehört hat, tritt an der Erdoberfläche eine Wärmestrahlung ein, welche je nach Umständen mehr oder weniger intensiv ist und eine größere oder geringere Abkühlung der am Boden befindlichen Körper zur Folge hat. Die Strahlung ist um so beträchtlicher, je klarer der Himmel und je weniger Wasserdampf in der Luft enthalten ist; sie ist auch bei Pflanzen und überhaupt bei solchen Gegenständen, welche eine größere Oberfläche darbieten, ergiebiger als bei Körpern mit glatter Oberfläche.

Da nun die Strahlung der Luft eine ungleich geringere ist, als jene der Erdoberfläche, so folgt daraus, daß die Temperatur der Luft von der Oberfläche ab mit der Höhe bis zu einer gewissen Grenze zunimmt, sobald in diesen Regionen der Atmosphäre keine Bewegung stattfindet. Für diese Vertheilung der Temperatur in den hier in Betracht kommenden Schichten bei Windstille während der Nacht sprechen z. B. folgende vom Referenten ermittelten Daten[1]):

Datum.	Zeit.	Lufttemperatur (° C.) Kleefeld in einer Höhe über der Oberfläche von 0,40 m.	0,75 m.	2,00 m.
7. Juli 1880.	12 h. N.	6,9	8,6	10,8
	2 h. a. m.	6,6	8,2	9,6
	4 h. a. m.	6,2	7,2	8,6
16. Juli 1880.	12 h. N.	12,2	13,0	15,4
	2 h. a. m.	11,2	12,6	13,8
	4 h. a. m.	11,0	12,0	13,4
17. Juli 1880.	12 h. N.	11,8	13,0	14,6
	2 h. a. m.	11,2	13,0	14,0
	4 h. a. m.	9,0	10,8	12,0

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. VII. 1884. S. 209. — Ferner Bd. VI. 1883. S. 252.

Bei anderweitigen Beobachtungen[1]) des Referenten war die Temperatur der Luft 0,03 m über einer Grasdecke während der Sommermonate in fortlaufender Reihe (183 Tage) niedriger als die Lufttemperatur in 1,5 m Höhe:

in	36	Fällen	um 0—1°
»	48	»	» 1—2°
»	51	»	» 2—3°
»	25	»	» 3—4°
»	5	»	» 4—5°.

Die von der Wetterwarte der Magdeburgischen Zeitung mitgetheilten Beobachtungen[2]) führten zu einem ähnlichen Resultat, wie folgende Zahlen darthun:

Die Lufttemperatur über dem Rasengrund war niedriger als in 2 m Höhe während der Monate Mai und September an den auf einander folgenden Tagen:

(483.)	in	44	Fällen	um 0—1°
	»	107	»	» 1—2°
	»	145	»	» 2—3°
	»	94	»	» 3—4°
	»	56	»	» 4—5°
	»	28	»	» 5—6°
	»	2	»	» 6—7°
	»	1	Fall	» 7—8°.

Aus derartigen Beobachtungen ergiebt sich mit voller Deutlichkeit, daß die Wirkungen der nächtlichen Strahlung sich fast ausschließlich auf die unterste, an der Erdoberfläche gelegene Luftschicht erstrecken, und daß man die Luft wärmer findet, je höher man sich von der Oberfläche erhebt. Bemerkenswerth ist hierbei der Umstand, daß die bezeichnete Abkühlung auch bei bewölktem Himmel in die Erscheinung tritt, allerdings meist, jedoch nicht immer, in geringerem Grade als bei klarem.[3]) Erklärlich wird dies, wenn man berücksichtigt, daß eine Wolkendecke die nächtliche Strahlung

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 133.
[2]) Jahrgang I—VIII. 1881—1888. Magdeburg. Faber'sche Buchdruckerei.
[3]) Vergl. diese Zeitschrift. Bd. XII. 1889. S. 357—364.

von der Bodenoberfläche ebensowenig aufzuheben vermag wie ein Ofenschirm die Strahlung von der heißen Ofenfläche.

Zieht man neben der geschilderten Vertheilung der Temperatur in den unteren Luftschichten jene in dem Erdreich während der Nacht in Betracht, so ergiebt sich, daß die Temperatur des Bodens von der Oberfläche ab mit der Tiefe zunimmt. Zur Illustration dieser Verhältnisse mögen folgende Zahlen dienen, welche die fünftägigen Mittel der um 7 h. a. m. gemachten Beobachtungen darstellen und somit die Wirkungen der vorausgegangenen nächtlichen Abkühlung zu erkennen geben[1]):

1882.

Bodenart.	Tieflage der Boden-schicht. gr	Bodentemperatur °C.					
		1. bis 5. Juli.	6. bis 10. Juli.	11. bis 15. Juli.	16. bis 20. Juli.	21. bis 25. Juli.	26. bis 31. Juli.
Quarzsand.	5	14,54	16,66	13,66	16,70	17,98	12,39
	10	14,34	16,54	13,66	16,76	18,24	12,72
	15	14,72	16,86	14,24	17,34	18,86	13,30
	20	15,40	17,52	15,02	18,20	19,62	13,97
	25	16.04	18,02	15,48	18,80	19,94	14,50
Lehm.	5	14,98	16,68	14,00	17,04	18,40	12,97
	10	15,38	17,06	14,64	17,62	19,16	13,68
	15	16,20	17,86	15,60	18,66	20,12	14,53
	20	16,96	18,50	16,38	19,36	20,84	15,25
	25	17,52	18,82	16,94	19,74	21,16	15,58
Torf.	5	15,16	17,30	14,52	17,38	19,22	15,13
	10	17,26	19,00	16,68	19,68	21,30	15,43
	15	18,58	20,04	18,14	20,88	22,36	16,83
	20	19,18	20,34	18,80	21,08	22,70	17,85
	25	19,24	20,06	19,06	20,68	22,38	18,63

Wie aus diesen Daten ersichtlich ist, nimmt die Temperatur des Bodens in den obersten Schichten während der Nacht von oben nach unten zu. In einem mit Pflanzen bestandenen Boden treten dieselben Gesetzmäßigkeiten in die Erscheinung bis zur Bodenoberfläche, welche sich überdies in Folge des Schutzes, den die Pflanzen gewähren, nur

[1]) Die Einzelbeobachtungen zeigten genau denselben Gang wie die in der Tabelle angegebenen Mittel.

langsam abkühlt und in Folge dessen beträchtlich wärmer ist als die Oberfläche der Pflanzendecke.

Aus diesen Thatsachen, aus welchen hervorgeht, daß während der nächtlichen Strahlung die Temperatur der Luft über den Pflanzen bei Windstille mit der Höhe zunimmt und andererseits die Temperatur des Bodens von der Oberfläche ab mit der Tiefe sich steigert, wird geschlossen werden müssen, **daß das Temperaturminimum bei ausgiebiger Strahlung und ruhiger Atmosphäre an der Oberfläche der Pflanzendecke gelegen ist.**

Es erübrigt nunmehr noch, bevor dieses Ergebniß zur Erklärung der Thaubildung auf Pflanzen herangezogen wird, darauf hinzuweisen, daß die Temperatur des Erdreichs während der Nacht nur langsam abnimmt, besonders bei dem Vorhandensein einer schützenden Pflanzendecke. In welcher Weise sich dies ausprägt, ersieht man aus folgenden Zahlen, welche aus solchen Versuchen des Referenten ausgewählt wurden, während welcher bei Nacht der Himmel ganz klar und die Luft ruhig waren[1]).

	19.—20./VII.		20.—21./VII.		16.—17. Juli.		12.—13./VIII.		13.—14./VIII.		14.—15./VIII.	
	1882.				1880.		1879.					
Zeit.	Lufttemperatur. In 1 m Höhe.	Bodentemperatur. Gras. 10 cm tief.	Lufttemperatur. In 1 m Höhe.	Bodentemperatur. Gras. 10 cm tief.	Lufttemperatur. In 1 m Höhe.	Bodentemperatur. Gras. 10 cm tief.	Lufttemperatur. In 1 m Höhe.	Bodentemperatur. Mais. 10 cm tief.	Lufttemperatur. In 1 m Höhe.	Bodentemperatur. Mais. 10 cm tief.	Lufttemperatur. In 1 m Höhe.	Bodentemperatur. Mais. 10 cm tief.
8 h. p. m.	20,5	20,5	21,4	21,0	20,0	20,2	16,0	17,5	15,8	18,6	17,2	19,0
10 » » »	18,0	20,1	16,6	20,4	17,2	19,8	11,5	17,0	11,8	17,6	15,8	18,2
12 » N.	15,4	19,6	17,2	20,0	15,4	19,2	10,4	16,8	10,4	16,8	10,8	17,4
2 » a. m.	12,6	19,1	14,9	19,6	13,8	18,6	7,8	15,4	8,8	16,0	9,6	16,7
4 » » »	9,8	18,6	12,6	19,2	12,4	18,4	7,4	14,8	7,6	15,6	8,8	16,2

	26./27. VI.		27.—28./VI.		26.—27./VI.		7.—8./VII.		7.—8./VII.		7.—8./VII.	
	1878.						1881.					
	Erbsen.		Erbsen.		Erbsen.		Bohnen I.		Bohnen II.		Bohnen III.	
8 h. p. m.	19,8	19,0	18,2	18,2	19,8	18,4	17,2	22,4	17,2	22,8	17,2	21,6
10 » » »	15,4	18,4	15,6	17,8	15,4	17,6	13,6	21,0	13,6	21,6	13,6	20,6
12 » N.	13,3	18,0	14,2	17,4	13,3	17,0	12,8	19,8	12,8	20,0	12,8	19,2
2 » a. m.	12,4	17,4	12,0	16,6	12,4	16,4	12,6	19,0	12,6	19,0	12,6	18,6
4 » » »	12,0	16,6	11,1	16,4	12,0	16,0	11,4	18,3	11,4	18,6	11,4	18,0

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. VI. 1883. S. 237—246.

Aus der diesen Zahlen zu entnehmenden Thatsache, daß der Boden sich während der Nacht auf einer mehr oder weniger höheren Temperatur erhält, wird gefolgert werden dürfen, daß zu dieser Zeit noch ziemlich beträchtliche Wassermengen aus dem Boden verdunstet und von der Bodenoberfläche aufsteigen werden. Ein Theil dieses Wasserdampfes wird nothwendigerweise sich in der Schicht niederschlagen müssen, in welcher das Temperaturminimum liegt, d. h. in der oberen Region der Pflanzendecke, während der in die Atmosphäre übertretende Theil des Wasserdampfes, sowie der unter der strahlenden Fläche befindliche keine Kondensation erfährt, weil die Luft nach oben und unten wie gezeigt steigende Temperaturen aufweist und in Folge dessen immer mehr und mehr Dampf aufzunehmen vermag.

Diese Schlußfolgerung wird überdies durch die oben mitgetheilten Versuchsergebnisse in vollem Umfange bestätigt, insofern die Thaumenge um so größer war, je höher der Feuchtigkeitsgehalt des Erdreiches, in welchem die Pflanzen wurzelten. Der Grund hierfür ist eben in der Thatsache begründet, daß die Verdunstung aus dem Boden unter sonst gleichen Verhältnissen mit dem Wassergehalt des letzteren zu- und abnimmt [1]). Es werden demgemäß auch um so größere Niederschlagsmengen an den durch Strahlung weit unter die Temperatur der Luft über der Pflanzendecke abgekühlten Blattflächen sich bilden müssen, je größer der Wasservorrath des Bodens war.

Für die Richtigkeit der hier entwickelten und mit der von *Gersten* aufgestellten sich deckenden Theorie der Thaubildung auf Pflanzen, sprechen noch verschiedene andere, hier gleich anzuführende Thatsachen. Referent rechnet dazu die öfter gemachte Beobachtung, daß die Thaubildung in der Regel auf der dem Boden zugewendeten Blattseite stärker als auf der von demselben abgewendeten Blattfläche war. Ferner gehört hierher die durch zahlreiche Versuche des Referenten erhärtete Thatsache, daß sich auf der Oberfläche des Bodens unter den Pflanzen kein Thau bildet. Die unter verschiedenen Gewächsen an einer Reihe von Tagen ausgelegten Glasplatten zeigten nicht die geringste Spur eines Hauches. Nur zuweilen bemerkte man auf denselben einzelne Tropfen, welche aber

---

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. VII. 1884. S. 38 u. Bd. X. 1887. S. 289.

nicht den Eindruck eines Thauniederschlages machten, sondern sich als Wassertheilchen darstellten, die von den bethauten Blättern herabgeträufelt waren. In keinem Fall war die auf diesem Wege dem Boden zugeführte Wassermenge eine nennenswerthe.

Verschiedene weiters gemachte Beobachtungen führten den Referenten zu der Ansicht, daß zur Erklärung der Thaubildung auf den Pflanzen nicht allein rein physikalische Prozesse, sondern auch solche physiologischer Art mit heranzuziehen seien, ja, daß in dem Falle erst eine vollständig zutreffende Vorstellung von dem bezüglichen Vorgange gewonnen werden könne, wo die in der Pflanze sich vollziehenden Prozesse gleichergestalt Beachtung finden. Für den vorliegenden Zweck ist besonders die Thatsache vor Allem von Wichtigkeit, daß die Aufnahme von Wasser seitens der Wurzeln der Pflanzen von der Bodentemperatur wesentlich beherrscht wird, und zwar in der Richtung, daß mit der Bodenwärme die aufgenommenen Wassermengen unter sonst gleichen Verhältnissen steigen und fallen. Berücksichtigt man nun, daß die Bodentemperatur während der Nacht nur langsam abnimmt und sich in Folge dessen auf einer ziemlich beträchtlichen Höhe erhält, so wird es klar, daß während dieser Zeit unter Umständen durch die Wurzeln nicht unbedeutende Mengen von Wasser aufgenommen werden. Vermöge des sogen. Wurzeldrucks gelangt dieses Wasser durch Aufpressung in die oberirdischen Organe und verläßt schließlich die Pflanze in dampfförmiger Gestalt, oder es wird, wenn eine bedeutende Abkühlung der Blattfläche in Folge der Strahlung stattgefunden hat, bei seinem Austritt aus der Pflanze sofort niedergeschlagen. Neben der Bodentemperatur spielt bei dem beschriebenen Vorgange außerdem der Wasserreichthum des Bodens insofern eine Rolle, als die Wasseraufnahme seitens der Pflanzen um so größer ist, je bedeutender der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, und umgekehrt.

Berücksichtigt man diese Verhältnisse, so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß bei der Thaubildung auf Pflanzen der geschilderte physiologische Vorgang mitbetheiligt ist. Daß dies in der That der Fall ist, läßt sich aus verschiedentlichen Beobachtungen entnehmen. So würde sich zunächst die stärkere Thaubildung auf der Unterseite der Blätter im Vergleich zu derjenigen auf der Oberseite derselben, ganz abgesehen von den oben bezeichneten Vorgängen, die hierbei gewiß eine Rolle spielen, durch den Umstand erklären lassen, daß die Zahl der Spalt-

öffnungen an der unteren Fläche der Blätter beträchtlich größer und der Wasseraustritt somit an dieser ergiebiger ist als an der Oberseite. Ebenso dürfte sich die Ursache der durch die oben entwickelte Theorie nicht zu deutenden Erscheinung, daß sich Thau auf den Pflanzen bilden kann, wenn die umgebende Luft noch nicht gesättigt (vergl. Versuch 3, Reihe 2 vom 18.—19. Juli 1882) oder die Strahlung beschränkt ist, aus dem bezeichneten physiologischen Prozeß herleiten lassen. Bei reichlichem Wasservorrath im Boden findet eine nicht unbeträchtliche Wasseraufpressung in der Pflanze statt, und das Wasser wird an der Blattfläche zum Niederschlag gebracht, wenn die Temperatur der Blätter auch noch nicht unter den Thaupunkt der nächstgelegenen Luftschichte gesunken ist. Neben den durch die Versuche 2. 4. 7. und 8. Reihe A I gelieferten Beispielen, welche zeigen, daß auch bei bedecktem Himmel eine Thaubildung stattfinden kann, wird die Wahrnehmung, daß an den Pflanzen der Töpfe, welche unter dem Leinwanddach behufs Verhütung der Strahlung aufgestellt waren oder sich im Glashause unter dem Glasdach befanden, ein Thauanflug[1]) beobachtet wurde, mit zur Illustration der in Rede stehenden Verhältnisse dienen können. Allerdings ist die unter solchen Umständen abgelagerte Wassermenge sehr viel geringer als bei der Thaubildung im Freien.

Als Konsequenz ergiebt sich aus vorstehenden Darlegungen, daß mit der Menge des von der Pflanze aufgenommenen Wassers die Thaumenge wachsen und fallen müsse. In der That ist dies der Fall, wie ja schon daraus hervorgeht, daß die Pflanzen sich um so stärker mit Thau bedecken, je feuchter das Erdreich ist. Die Beziehungen zwischen Thaumenge und Verdunstung lassen sich aber auch in einer anderen Weise nachweisen. Pflanzen von verschieden kräftigem Wuchs verdunsten nämlich eine der Ueppigkeit ihrer Entwickelung entsprechende Wassermenge, wenn denselben ein gleicher oder annähernd gleicher Wasservorrath zur Verfügung steht. Der Nachweis hierfür kann geliefert werden, wenn man unter übrigens gleichen Umständen die Pflanzen aus großen und kleinen Samen, auf gedüngtem und ungedüngtem Boden, oder bei früh-

---

[1]) Die an den Blatträndern nicht selten auftretenden Ausscheidungen in Form einzelner Tropfen sind hierbei nicht berücksichtigt, sondern die gleichmäßig über die Blattfläche vertheilten, wie solche bei eigentlichen Thauniederschlägen beobachtet werden.

zeitigem oder späterem Saattermin erzieht und die Transpirationsgröße, bezogen auf gleiche Bodenflächen, ermittelt. So betrug beispielsweise [1]) die Verdunstung pro 1000 qcm Fläche während der Vegetationszeit bei

	Erbsenpflanzen aus großen Körnern	Erbsenpflanzen aus kleinen Körnern	Erbsenpflanzen Saatzeit 19/IV.	Erbsenpflanzen Saatzeit 9/V.	Gras Gedüngt.	Gras Ungedüngt.
gr	33137	28992	54435	51522	59587	51575.

Hieraus folgt ohne Weiteres, daß die verdunsteten Wassermengen um so größer sind, je kräftiger die Pflanzen sich entwickeln konnten.

Auch bei verschiedener Standdichte der Pflanzen sind die an die Atmosphäre abgegebenen Wassermengen verschieden, wie folgende Zahlen darthun:

	Verdunstete Wassermengen pro 1000 qcm in gr. Buchweizen Dichter Stand.	Buchweizen Dünner Stand.	Lein Dichter Stand.	Lein Dünner Stand.
31. Mai — 16. Aug.	73301	65423	54993	48920.

Die Wasserverdunstung aus dem angebauten Boden ist mithin um so größer, je dichter die Pflanzen stehen.

Bei den nachgewiesenen Beziehungen zwischen Transpiration durch die oberirdischen Organe und Thaumenge wird a priori geschlossen werden dürfen, daß in allen zuletzt angeführten Fällen der Thauansatz um so ergiebiger sein werde, je kräftiger jene Organe entwickelt sind und je größer die Zahl der Pflanzen ist, die auf gleicher Fläche stehen. Inwieweit diese Voraussetzung zutreffend ist, läßt sich aus folgenden Zahlen ermessen:

---

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. X. 1887. S. 300 u. ff.

B. Thaumengen bei verschiedener Entwickelung und bei verschiedener Standdichte der Pflanzen.

1. Versuchsreihe.

Pflanzen aus verschieden großen Samen.

Versuch 1 (1881). 1.—2. Juli. a. Erbsen.

Pflanzen aus	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
großen Samen kleinen »	10 10	41,4 25,5	0,0 0,0	**41,4** **25,5**	Ab. 8 h.: 18,3° C. Mg. 4 h.: 11,2 » N. kl. u. r.

Versuch 2 (1881). 29.—30. Juli.

großen Samen kleinen »	10 10	47,8 31,5	19,1 9,6	**28,7** **21,9**	Ab. 8 h. : 20,2° C. Mg. 3½ h.: 12,0 » N. kl. u. r.

Versuch 3 (1882). 4.—5. Juli. b. Sojabohnen.

großen Samen kleinen »	10 10	40,1 27,7	14,0 19,1	**26,1** **8,6**	Ab. 8 h. : 17,5° C. Mg. 3½ h.: 7,8 » Ab. kl., N. leicht überz. u. r.

Versuch 4 (1882). 15.—16. Juli.

großen Samen kleinen »	10 10	30,9 23,9	3,2 15,9	**27,7** **8,0**	Ab. 8½ h.: 20,3° C. Mg. 3½ h.: 10,4 » N. kl. u. r.

Versuch 5 (1882). 18.—19. Juli.

großen Samen kleinen »	10 10	25,8 21,7	2,6 12,4	**23,2** **9,3**	Ab. 8½ h.: 15,9° C. Mg. 3½ h.: 11,6 » N. kl. u. r.

Versuch 6 (1882). 19.—20. Juli.

Pflanzen aus	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
großen Samen kleinen »	10 10	50,0 39,2	22,6 28,0	**27,4** **11,2**	Ab. $8^1/_2$ h.: 19,8° C. Mg. $3^1/_2$ h.: 11,5 » N. kl. u. r.

Versuch 7 (1882). 20.—21. Juli.

großen Samen kleinen »	10 10	35,0 37,9	15,9 27,7	**19,1** **10,2**	Ab. 9 h. : 18,1° C. Mg. $3^1/_2$ h.: 12,7 » N. kl. u. r.

2. Versuchsreihe.

Gedüngte und ungedüngte Pflanzen.

a. Buchweizen.

Versuch 1. 1.—2. Juli 1881.

Düngung.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm. Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
Gedüngt Ungedüngt	16 16	41,4 25,5	0,0 0,0	**41,4** **25,5**	Ab. 8 h.: 18,3° C. Mg. 4 h.: 11,2 » N. kl. u. r.

Versuch 2. 2.—3. August 1881.

Gedüngt Ungedüngt	16 16	54,1 28,7	12,7 3,2	**41,4** **25,5**	Ab. 8 h.: 19,5° C. Mg. 4 h.: 12,7 » N. thlw. leicht bed. u. r.

Versuch 3. 26.—27. August 1881.

Gedüngt Ungedüngt	16 16	121,0 86,0	76,4 54,1	**44,6** **31,9**	Ab. $8^1/_2$ h.: 19,4° C. Mg. 4 h. : 15,0 » Bis Mg. kl. u. r.

Versuch 4. 29.—30. August 1881.

Düngung.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
Gedüngt	16	63,6	31,8	31,8	Ab. 7 h.: 13,1° C.
Ungedüngt	16	47,7	15,9	31,8	Mg. 5 h.: 5,3 » N. kl. u. r.

Versuch 5. 5.—6. September 1881.

Düngung.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen.
Gedüngt	16	50,9	3,2	47,7	Ab. 7 h.: 15,7° C.
Ungedüngt	16	38,2	3,2	35,0	Mg. 5 h.: 10,6 » N. abw. kl. u. bew. u. r.

Versuch 6. 10.—11. September 1881.

Düngung.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen.
Gedüngt	16	41,4	25,5	15,9	Ab. 7 h.: 13,4° C.
Ungedüngt	16	28,7	12,7	16,0	Mg. 5 h.: 10,4 » Bis Mg. thlw. bew. u. r.

b. Sojabohnen.

Versuch 7. 4.—5. Juli 1882.

Düngung.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen.
Gedüngt	10	47,1	20,7	26,4	Ab. 8 h. : 17,5° C.
Ungedüngt	10	40,1	14,0	26,1	Mg. 3½ h.: 7,8 » Ab. kl., N. leicht überz. u. r.

Versuch 8. 15.—16. Juli 1882.

Düngung.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen.
Gedüngt	10	34,7	3,8	30,9	Ab. 8½ h.: 20,3° C.
Ungedüngt	10	30,9	3,2	27,7	Mg. 3½ h.: 10,4 » N. kl. u. r.

Versuch 9. 18.—19. Juli 1882.

Düngung.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen.
Gedüngt	10	25,8	0,0	25,8	Ab. 8½ h.: 15,9° C.
Ungedüngt	10	25,8	2,6	23,2	Mg. 3½ h.: 11,6 » N. kl. u. r.

Versuch 10. 19.—20. Juli 1882.

Düngung.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
Gedüngt Ungedüngt	10 10	54,3 50,0	26,1 22,6	**28,2** **27,4**	Ab. 8½ h.: 19,8° C. Mg. 3½ h.: 11,5 » N. kl. u. r.

Versuch 11. 20.—21. Juli 1882.

Gedüngt Ungedüngt	10 10	49,9 35,0	21,3 15,9	**28,6** **19,1**	Ab. 9 h. : 18,1° C. Mg. 3½ h.: 12,7 » N. kl. u. r.

3. Versuchsreihe.

Pflanzen zu verschiedenen Terminen angesäet.

a. Buchweizen.

Versuch 1. 1.—2. Juli 1881.

Saattermin.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
25. April 25. Mai	16 16	38,2 35,0	3,2 15,9	**35,0** **19,1**	Ab. 8 h.: 18,3° C. Mg. 4 h.: 11,2 » N. kl. u. r.

b. Sojabohne.

Versuch 2. 4.—5. Juli 1882.

28. April 20. Mai	19 19	44,6 35,3	7,4 13,7	**37,2** **22,6**	Ab. 8 h. : 17,5° C. Mg. 4½ h.: 7,8 » Ab. kl., N. leicht überz. u. r.

Versuch 3. 15.—16. Juli 1882.

28. April 20. Mai	19 19	38,2 34,0	0,0 1,3	**38,2** **32,7**	Ab. 8½ h.: 20,3° C. Mg. 3½ h.: 10,4 » N. kl. u. r.

Versuch 4. 18.—19. Juli 1882.

Saattermin.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
28. April 20. Mai	19 19	37,6 32,1	0,0 3,2	37,6 28,9	Ab. 8½ h.: 15,9° C. Mg. 3½ h.: 11,6 » N. kl. u. r.

Versuch 5. 19.—20. Juli 1882.

28. April 20. Mai	19 19	51,9 53,4	19,7 30,6	32,2 22,8	Ab. 8½ h.: 19,8° C. Mg. 3½ h.: 11,5 » N. kl. u. r.

Versuch 6. 20.—21. Juli 1882.

28. April 20. Mai	19 19	44,6 42,7	16,2 24,9	28,4 17,8	Ab. 9 h. : 18,1° C. Mg. 3½ h.: 12,7 » N. kl. u. r.

4. Versuchsreihe.

Pflanzen von verschiedener Standdichte.

a. Buchweizen.

Versuch 1. 1.—2. Juli 1881.

Standdichte.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
Dicht . . . Weit . . .	51 13	60,5 47,8	15,9 19,1	44,6 28,7	Ab. 8 h.: 18,3° C. Mg. 4 h.: 11,2 » N. kl. u. r.

Versuch 2. 2.—3. August 1881.

Dicht . . . Weit . . .	51 13	38,2 31,8	12,7 12,7	25,5 19,1	Ab. 8 h.: 19,5° C. Mg. 4 h.: 12,7 » N. thlw. leicht bed. u. r.

b. Lein.

Versuch 3. 1.—2. Juli 1882.

Standdichte.	Saatquantum pro 1000 qcm. gr	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht.		Thaumenge. pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
		Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr		
Dicht . . .	25,5	63,6	38,2	**25,4**	Ab. 8 h.: 18,3° C.
Weit . . .	6,4	50,9	35,0	**15,9**	Mg. 4 h.; 11,2 »
					N. kl. u. r.

Versuch 4. 2.—3. August 1882.

Dicht . . .	25,5	47,8	25,5	**22,3**	Ab. 8 h.: 19,5° C.
Weit . . .	6,4	44,6	22,3	**22,3**	Mg. 4 h.: 12,7 »
					N. thlw. leicht bed. u. r.

c. Sojabohne.

Versuch 5. 4.—5. Juli 1882.

Standdichte.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht.		Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
		Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr		
Dicht . . .	19	44,6	7,4	**37,2**	Ab. 8 h. : 17,5° C.
Weit . . .	10	40,1	14,0	**26,1**	Mg. 3½ h.: 7,8 »
					Ab. kl., N. leicht überz. u. r.

Versuch 6. 15.—16. Juli 1882.

Dicht . . .	19	38,2	0,0	**38,2**	Ab. 8½ h.: 20,3° C.
Weit . . .	10	30,9	3,2	**27,2**	Mg. 3½ h.: 10,4 »
					N. kl. u. r.

Versuch 7. 18.—19. Juli 1882.

Dicht . . .	19	37,6	0,0	**37,6**	Ab. 8½ h.: 15,9° C.
Weit . . .	10	25,8	2,6	**23,2**	Mg. 3½ h.: 11,6 »
					N. kl. u. r.

Versuch 8. 19.—20. Juli 1882.

Standdichte.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen. (Lufttemperatur in 1 m Höhe.)
Dicht . . .	19	51,9	19,7	32,2	Ab. $8^1/_2$ h.: 19,8° C.
Weit . . .	10	50,0	22,6	27,4	Mg. $3^1/_2$ h.: 11,5 »
					N. kl. u. r.

Versuch 9. 20.—21. Juli 1882.

Standdichte.	Zahl der Pflanzen pro 1000 qcm.	Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen.
Dicht . . .	19	44,6	16,2	28,4	Ab. 9 h. : 18,1° C.
Weit . . .	10	35,0	15,9	19,1	Mg. $3^1/_2$ h.: 12,7 »
					N. kl. u. r.

Diese Daten liefern, mit wenigen Ausnahmen, den Nachweis, daß die auf gleiche Bodenflächen bezogenen Thaumengen um so größer sind, je kräftiger die oberirdischen Organe der Pflanzen sich entwickelt haben und je enger die Individuen stehen. Diese Gesetzmäßigkeit dürfte jedoch nur für jene Fälle Gültigkeit besitzen, wo der Boden, wie in diesen Versuchen, mit genügenden Feuchtigkeitsmengen versehen ist. Da aber Pflanzen mit kräftigerem Wachsthum, sowie sehr dicht angebaute, unter natürlichen Verhältnissen den Boden in größerem Umfange an Wasser erschöpfen, als schwächlicher ausgebildete und lichter stehende, so kann bei Eintritt längerer Trockenperioden der Feuchtigkeitsgehalt des Erdreiches bei jenen auf ein Minimum sinken, während bei letzteren noch genügende Wassermengen zur Unterhaltung einer ergiebigen Verdunstung zur Verfügung bleiben. In solchen allerdings seltener vorkommenden Fällen werden zweifelsohne die Unterschiede in den Thaumengen sich umgekehrt herausstellen. —

Ueberblickt man die im Bisherigen mitgetheilten Versuchsergebnisse, so wird man sich nicht der Ansicht verschließen können, daß die auf den Pflanzen sich bildenden Thauniederschläge einerseits von dem direkt aus dem Boden aufsteigenden Wasserdampf, andererseits aus denjenigen Wassermengen ihren Ursprung

herleiten, welche durch die Wurzeln der Pflanzen aus dem Boden aufgenommen, in die oberirdischen Organe geleitet und bei ihrem Austritt in Dampfform an den durch Strahlung abgekühlten Blättern niedergeschlagen werden. Da beide Vorgänge in gleichem Sinne von Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit beherrscht werden, so folgt daraus, daß sie sich in ihren Wirkungen gegenseitig unterstützen und der Thauabsatz mithin die Summe der Produkte beider Prozesse darstellt.

Damit würde im Wesentlichen der bisher mangelnde Beweis für die Theorie *Gersten*'s über die Ursache der Thaubildung, soweit hier zunächst jene auf Pflanzen in Betracht kommt, geliefert sein. Ob auch Niederschläge aus der Luft über den Pflanzen außerdem noch unter Umständen bei der Thaubildung mitbetheiligt sind, läßt sich zur Zeit nicht ermessen. Nach den in diesem Abschnitt aufgeführten Thatsachen kann jedoch mit Sicherheit angenommen werden, daß die Thaubildung beginnt und in größerem Umfange lange vor dem Zeitpunkt stattfindet, wo eventuell ein Niederschlag aus der Luft erfolgen könnte, weil, wie nachgewiesen, letztere mit zunehmender Höhe eine steigende Temperatur besitzt und dadurch größere Wassermengen, die ihr aus dem Boden zugeführt werden, aufzunehmen vermag. Daß die Luft über der Pflanzendecke sich unter Umständen durch Leitung von dem erkaltenden Boden her bis zum Thaupunkt abkühlen und dann Wasser in tropfbar flüssiger Form ausscheiden wird, kann selbstredend nicht geleugnet werden, aber fraglich ist es, ob dieser Niederschlag als Thau, oder nicht vielmehr als Dunst oder Nebel aufzufassen ist. In Bezug hierauf wird die Bemerkung nicht überflüssig sein, daß man sich leicht Täuschungen aussetzt, wenn man bei solchen Versuchen nicht die ganze Nacht gegenwärtig ist, weil viele Niederschläge, die morgens an Pflanzen oder leblosen Gegenständen wahrgenommen werden, von einem vorübergehenden Dunst oder Nebel herstammen und somit nichts mit dem Thau zu thun haben, welcher sich bei vollkommener Durchsichtigkeit der Luft auf den Pflanzen bildet.

Nebel und Dunst sind, wie hier nebenbei angeführt sein mag, Niederschläge, deren Auftreten und Menge in gleicher Weise von dem Wassergehalt und der Temperatur des Bodens, sowie von der Beschaffenheit der Pflanzendecke abhängig sind, wie der Thau, weil der Theil des vom

Boden aufsteigenden Wasserdampfes, der nicht der Thaubildung dient, in jene Regionen der Atmosphäre übertritt, in welchen Dunst und Nebel entstehen. Verschiedene Beispiele ließen sich dafür anführen.

III. Die Bildung und Menge des Thaues auf leblosen Körpern.

Anknüpfend an die Darlegungen des vorigen Abschnittes kann hier zunächst die Frage erörtert werden, in welcher Weise sich der nackte Boden, wie er in der Natur vorkommt, bei der Thaubildung verhalte. Hierüber geben folgende Zahlen aus Versuchen Aufschluß, die genau so wie jene im vorigen Abschnitt beschriebenen ausgeführt wurden.

1880.

Datum.	Beschaffenheit des Bodens.	Abnahme der Bodenfeuchtigkeit während d. Nacht. Ohne Thau. gr	Mit Thau. gr	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche. gr	Bemerkungen.
15.—16. Mai	Nackter Boden Mit Klee besetzt	30,0 57,5	25,0 12,5	**5,0** **35,0**	Ab. 8 h.: 15,4° C. Mg. 4 h.: 7,7 »
25.—26. Mai	Nackter Boden Mit Klee besetzt	37,0 48,4	16,4 20,0	**20,6** **28,4**	Ab. 8 h.: 20,1° C. Mg. 4 h.: 11,7 »
19.—20. Juni	Nackter Boden Mit Klee besetzt	26,8 33.6	20,4 5,6	**6,4** **28,0**	Ab. 8 h.: 18,9° C. Mg. 4 h.: 10,9 »

Aus diesen Zahlen läßt sich ohne Weiteres folgern, daß die Thaumenge, welche sich auf nacktem feuchten Boden bildet, beträchtlich geringer ist als jene auf Pflanzen. Bemerkenswerth ist ferner die Thatsache, daß eine tropfbar flüssige Ausscheidung an der Oberfläche des nackten Bodens nur in dem zweiten Versuch beobachtet wurde, in den beiden anderen Fällen, wo die Oberfläche abgetrocknet erschien, aber mit dem Auge nicht wahrgenommen werden konnte. Im Uebrigen ergiebt sich, daß, wie bei bepflanztem Boden, auch bei dem nackten eine Gewichtsabnahme der Masse eintrat trotz der Thaubildung.

Die Ursachen der vergleichsweise geringeren Niederschlagsmenge auf kahlem Boden ist nicht etwa in einem gegenüber dem mit Pflanzen

bedeckten geringeren Wassergehalt desselben zu suchen, denn wie zahlreiche Versuche[1]) dargethan haben, ist jener unter allen Umständen mit größeren Feuchtigkeitsmengen versehen als dieser. Die geschilderten Gesetzmäßigkeiten dürften vielmehr darauf zurückzuführen sein, daß einerseits die Strahlung von der Oberfläche und die Abgabe von Wasser[2]) bei dem nackten Boden ungleich geringer sind als von einer Pflanzendecke.

Bei lufttrockenem Boden gestalten sich diese Verhältnisse wesentlich anders, insofern derselbe während der Nacht nicht unbeträchtliche Wassermengen aufnimmt und dadurch an Gewicht zunimmt. In den bezüglichen Versuchen des Referenten wurden Kästen von 100 qcm Querschnitt und 5 cm Tiefe mit lufttrockener Erde gefüllt und auf einem Brett, welches auf einer Grasfläche lag, während solcher Nächte aufgestellt, in denen Thaubildung auftrat. Von der Erwägung ausgehend, daß unter natürlichen Verhältnissen die oberen Schichten einer Ackerschicht nach erfolgter Abtrocknung von den unteren feuchten Wasser in Dampfform zugeführt erhalten, wurde in jedem Versuch ein weiteres Gefäß hergerichtet, in welchem zu unterst eine mäßig feuchte Lage des betreffenden Bodens angebracht wurde; die darüber eingefüllten Schichten befanden sich im lufttrockenen Zustande. Thaubildung wurde nur in einzelnen Fällen in Tröpfchenform auf Torf oder als die Oberfläche gleichmäßig befeuchtender Niederschlag bei Lehm und Quarzsand wahrgenommen. In den übrigen Fällen blieb der Thau, trotz reichlicher Kondensation von Wasserdampf, unsichtbar.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse dieser Versuche übersichtlich zusammengestellt. Die * bedeuten, daß der Thau in dem betreffenden Fall sichtbar war.

---

1) Diese Zeitschrift. Bd. X. 1887. S. 262—297.
2) Diese Zeitschrift. Bd. VII. 1884. S. 85—91.

Datum. 1881.	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche in gr. (Gewichtszunahme während der Nacht.)					
	Torf [1])		Lehm [1])		Quarzsand	
	trocken.	trocken, Untergrund feucht.	trocken.	trocken, Untergrund feucht.	trocken.	trocken, Untergrund feucht.
12.—13. Juli	22	16	21	14	11*	5*
29.—30. »	17	13	10	7	8	5
26.—27. August . . .	26*	17*	21*	14*	18*	11*
29.—30. » . . .	25*	20*	26*	23*	21*	17*
5.— 6. September . .	22*	20*	28	16	13	15
10.—11. » . .	21	19	23	20	14*	11*
13.—14. » . .	32*	30*	30	29	26	29
20.—21. » . .	37*	36*	40*	36*	26*	29*
Mittel:	**25,2**	**21,4**	**24,9**	**19,9**	**17,1**	**15,2**

Aus diesen Daten folgt, daß der Boden im lufttrockenen Zustande während der Nacht Feuchtigkeit aufnimmt, die entweder in tropfbar flüssiger Form an der Oberfläche sich bemerkbar macht oder unsichtbar bleibt, ferner, daß die betreffenden Wassermengen geringer sind, wenn das Erdreich bereits mit größeren Mengen hygroskopischen Wassers versehen war (feuchter Untergrund).

Offenbar handelt es sich auch unter den in Rede stehenden Bedingungen nicht um einen Thauniederschlag aus der Luft, sondern um eine Absorption von Wasserdampf aus der Luft durch den porösen Boden. Die auf diesem Wege zugeführte Feuchtigkeit geht bei genügender Abkühlung des Bodens in die flüssige Form über und erscheint als Thau, oder sie verbleibt im gasförmigen, verdichteten Zustande.

Diese Resultate decken sich mit jenen, welche *J. S. Sikorski*[2]) in seinen Versuchen über die durch die Hygroskopizität der Bodenarten bewirkte Wasserzufuhr erhalten hat. Diese hatten ergeben, daß der Boden während der Nacht bei zunehmender Luftfeuchtigkeit Wasserdampf aus der Luft absorbirt[3]), dessen Menge von der physikalischen Beschaffenheit des Erdreiches abhängig ist. Torf und Lehm nahmen mehr Wasser auf

[1]) In Form eines feinen Pulvers.

[2]) Diese Zeitschrift. Bd. IX. 1886. S. 421.

[3]) a. a. O. S. 429.

als Quarzsand, wie dies auch in vorliegenden Versuchen der Fall war. Dafür, daß der mit einer feuchten Unterlage versehene Boden weniger Wasser absorbirte als der durchgängig lufttrockene, spricht der Umstand, daß ersterer von unten her Wasserdampf zugeführt erhielt und somit eher in den hygroskopischen Gleichgewichtszustand kam als letzterer.

Die Beziehungen der Hygroskopizität der Körper zur Thaubildung, wie solche bei lufttrockenen Bodenarten deutlich in die Erscheinung treten, lassen sich auch bei allen übrigen Materialien leicht beobachten. Versuche dieser Art wurden von dem Referenten mit grobem Löschpapier, Baumwolle, Federn und Asbest ausgeführt. Diese Stoffe wurden auf den Boden von Blechgefäßen (von 384 qcm Grundfläche), welche einen 1 cm hohen Rand besaßen, ausgebreitet und auf einem auf einer Grasfläche aufliegenden Brett der Nachtluft ausgesetzt. Das schwarz gefärbte, grobe Löschpapier wurde sowohl in glatter Fläche als auch in Form von 10 cm langen und 1 cm breiten Schnitzeln verwendet. Außerdem stellte man von demselben 3 cm breite Streifen her, welche hin und her gefaltet und auf die hohe Kante gestellt wurden. Die Federn stammten von dem Halse einer Gans und wurden locker, wie die Baumwolle und der zerzupfte Asbest in einer 0,8 cm hohen Schicht über den Boden der Blechgefäße ausgebreitet. Die Versuche wurden wie alle übrigen nur in klaren und windstillen Nächten ausgeführt. Alle Materialien zeigten in den beobachteten Fällen Thau, der bei Baumwolle, Federn und Asbest in Form von Tropfen, bei dem Papier in einer Durchfeuchtung desselben sich bemerkbar machte. Die Wägungen wurden jedes Mal eine Stunde vor Sonnenaufgang vorgenommen, wobei sich ergab, daß sämmtliche Versuchsmaterialien eine Gewichtszunahme erfahren hatten. Ueber die Thaumengen giebt folgende Tabelle Auskunft:

Versuch 1. 1881.

Datum.	Thaumenge pro 1000 qcm Fläche in gr.					
	Papier			Baum-wolle.	Federn.	Asbest.
	glatt.	-Schnitzel.	gefaltet.			
26.—27. August	2,35	5,47	10,42	8,33	6,25	1,82
29.—30. »	28,12	23,65	29,43	27,43	23,96	19,01
5.— 6. Septbr.	17,71	17,45	22,39	19,79	20,84	15,37
10.—11. »	10,16	11,98	16,14	14,06	17,46	7,55
13.—14. »	31,25	26,56	35,16	32,29	28,12	24,22
20.—21. »	35,15	33,07	42,97	36,72	32,81	27,86
Mittel	**20,79**	**19,70**	**26,09**	**23,10**	**20,57**	**15,97**

Versuch 2. 1882.

15.—16. Juli .	7,55	10,68	19,01	16,14	13,28	8,33
18.—19. » .	14,32	19,01	28,12	26,04	23,43	16,67
19.—20. » .	9,63	13,02	20,83	17,45	14,84	9,63
20.—21. » .	13,02	15,36	22,13	22,13	18,95	13,84
Mittel	**11,13**	**17,02**	**22,52**	**20,44**	**17,62**	**12,12**

Aus diesen Zahlen läßt sich folgern, daß die Thaumenge mit der Vergrößerung der Oberfläche wächst (Löschpapier) und daß dieselbe auf Körpern organischen Ursprungs (Papier, Baumwolle, Federn) beträchtlicher ist als auf solchen mineralischer Natur (Asbest).

Diese Gesetzmäßigkeiten machen es im hohen Grade wahrscheinlich, daß der Thau, welcher sich auf leblosen Gegenständen bildet, gleich wie bei dem lufttrockenen Boden nicht aus einem Niederschlag aus der Luft, sondern aus denjenigen Wassermengen herrührt, welche die porösen Körper durch Absorption aus der umgebenden Luft aufnehmen und welche bei ausgiebiger Abkühlung in Folge von Strahlung in den tropfbar flüssigen Zustand übergehen. Wäre nämlich der Thau ein Niederschlag aus der Luft, so hätten, da die Substanzen nur eine dünne Lage bildeten und deshalb in Bezug auf die Temperatur keinen wesentlichen Unterschied aufgewiesen haben dürften, die Niederschlagsmengen nicht so verschieden sein können; dagegen stehen die betreffenden Differenzen in

einer ganz gesetzmäßigen Beziehung zu dem Absorptionsvermögen der Versuchsmaterialien für Wasserdampf, insofern als letzterer in um so größeren Mengen absorbirt wird, je größer die Oberfläche und die Masse des Körpers sind (Löschpapier) und organische Stoffe (Baumwolle, Federn) auf diesem Wege wegen vergleichsweise größerer Porosität mehr Wasser aufnehmen wie ähnlich beschaffene mineralischen Ursprungs. Der beobachtete Unterschied zwischen Baumwolle und Federn läßt sich vielleicht auf den Umstand zurückführen, daß erstere poröser war als letztere. Auch mag das Fett in den Federn zu einer Verminderung des Absorptionsvermögens derselben beigetragen haben.

In gleicher Weise, wie bei den in diesen Versuchen verwendeten Materialien, wird die Thaubildung, welche auf anderen Körpern, z. B. auf wollenen Kleidungsstücken, oxydirten oder blanken Metalltheilen, Glasplatten, hölzernen oder mit Oelfarbe angestrichenen Gegenständen u. s w. auftritt, erklärt werden können. Bei Kleidungsstücken, welche auf dem Körper getragen werden, stammt das in denselben bei starker Abkühlung in mehr oder minderen Mengen niedergeschlagene Wasser offenbar von dem von der Körperoberfläche verdunsteten, bei den übrigen Gegenständen von dem Wasser her, welches dieselben auf der Oberfläche zunächst aus dem Wasserdampf der umgebenden Luft verdichten und welches alsdann bei ausreichender Abkühlung tropfbar flüssig wird. Von Metalloxyden, ebenso von Hölzern, ist hinlänglich bekannt, daß dieselben ein sehr starkes Absorptionsvermögen für Wasserdampf besitzen [1]), und dasselbe ist auch der Fall, wenn auch in geringerem Grade, von blanken Metallflächen, Glasplatten und mit Oelfarbenanstrich versehenen Körpern, auf deren Oberfläche in Folge Verdichtung von Wasserdampf eine sogen. «Wasserhaut» vorhanden ist [2]), deren Stärke sowohl von Temperatur, als auch von dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft wesentlich abhängig ist.

In Bezug auf eine eventuelle Mitbetheiligung von Niederschlägen aus der Luft bei der Thaubildung auf leblosen Körpern im Freien muß auf die einschlägigen Ausführungen am Schlusse des II. Abschnittes verwiesen werden.

---

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. II. 1879. S. 22.

[2]) Vergl. *R. Bunsen.* Ueber kapillare Gasabsorption. Ann. d. Phys. N. F. 1885. Bd. XXIV. S. 321. — *F. Warburg* u. *F. Ihmori.* Ueber kapillare Wasserschichten auf Glasflächen. Ann. d. Phys. N. F. Bd. XXVII. S. 481. — Bd. XXXI. S. 1006.

Bei dieser Gelegenheit mag schließlich der Frage näher getreten werden, inwieweit an die Konstruktion eines Apparates gedacht werden könne, der es ermöglicht, die Thaumenge zu messen. Aus dem Vorstehenden ergiebt sich zur Genüge, daß ein derartiges Instrument entweder sehr komplizirte Vorarbeiten wie bei der Messung des Thaues auf Pflanzen erheischen, oder sehr unzuverlässige Angaben liefern würde. In letzterer Beziehung hat man vor Allem zu berücksichtigen, daß der Thau, wie nachgewiesen, selbst auf verhältnißmäßig kleinen Flächen in höchst wechselnden Mengen auftritt, je nach der Feuchtigkeit des Bodens, ferner, daß bei der Verwendung poröser Materialien die Größe des Thauabsatzes nicht allein von der Beschaffenheit, sondern auch von der Ausdehnung der Oberfläche der betreffenden Substanzen abhängig ist. Dazu kommt, daß die Thaubildung auf leblosen Gegenständen, wie oben näher begründet wurde, in geringerem Umfange erfolgt als auf Pflanzen. Schließlich würde auch der Ausführung des in Rede stehenden Projektes der Umstand entgegenstehen, daß der Ort der Aufstellung für die Befeuchtung des Materiales gleichergestalt sich von Belang erweist. Letzteres wurde vom Referenten in folgender Weise dargethan. Aus schmalen Holzleistchen hergestellte Rahmen wurden mit grobem Löschpapier theils im glatten, theils im gefalteten Zustande überspannt und 40 cm hoch über dem Erdboden auf einem Kleefeld, sowie auf einem Brachfeld während der Nacht aufgestellt. Die Thaumenge, welche sich auf der 1000 qcm großen Fläche absetzte, betrug:

Datum.	Kleefeld.		Brachfeld.	
1880.	Glattes Papier.	Gefaltetes Papier.	Glattes Papier.	Gefaltetes Papier.
24.—25. Mai.	8,7 gr	14,3 gr	6,8 gr	11,6 gr
19.—20. »	17,7 »	— »	15,8 »	— ».

Wie man sieht, war die Thaumenge über dem Kleefeld nicht unbeträchtlich größer als über dem Brachfeld, und zwar einfach aus dem Grunde, als die Luft über dem ersteren bei Windstille stets feuchter ist als über dem letzteren [1]).

Faßt man alle bezeichneten Momente zusammen, so wird man sich der Ansicht nicht verschließen können, daß die Konstruktion eines allen Anforderungen entsprechenden Thaumessers unüber-

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. VIII. 1885. S. 285.

windliche Schwierigkeiten bietet. Ob ein solcher im günstigsten Falle überhaupt eine Bedeutung haben würde, ist eine Frage, welche nach den nun folgenden Ausführungen entschieden verneint werden müßte.

IV. Vergleich der Thaumenge mit der Höhe der sonstigen Niederschläge.

G. Dines[1]), welcher sich mit der Bestimmung der durch den Thau gebildeten Wassermengen beschäftigte und dieselbe mit Hülfe von Uhrgläsern zu messen versuchte, fand, daß sich im Mittel für einen nächtlichen Thaufall eine Wassermenge von kaum 1 mm ergab. Die Beobachtungen auf Gras zeigten im Mittel nur 0,07 mm pro Nacht. *G. Dines* berechnet hieraus die jährliche Wasserhöhe des Thaufalls auf 35,5 mm oder 26,0 mm auf Gras, indem er die beobachtete mittlere Thaumenge mit der Zahl der Tage im Jahre multiplizirt. Selbst wenn man allen Umständen, unter denen die Versuche angestellt worden sind, in günstigster Weise Rechnung trägt, würde man nach genanntem Forscher nur einen jährlichen Thaufall von ca. 38 mm erhalten, während man ihn für England schon auf 127 mm geschätzt hatte.

Die Berechnungsweise in diesen Versuchen ist insofern nicht einwurfsfrei, als es unstatthaft ist, für jeden Tag des Jahres einen Thaufall anzunehmen, da ein solcher nur an einzelnen Tagen aufzutreten pflegt. Abgesehen hiervon ist auch die von *Dines* angewendete Versuchsmethode als fehlerhaft zu bezeichnen, weil man mit Hülfe von Gläsern den Thau, am wenigsten jenen auf Pflanzen, nicht messen kann, wie wohl aus obigen Mittheilungen zur Genüge hervorgehen dürfte. Die in den Einzelbeobachtungen ermittelten Werthe waren sicherlich zu klein, und die Gesammtsumme war zu groß, weil jene mit der Gesammtzahl der Tage im Jahre multiplizirt wurden. Aus diesem Grunde können die Ergebnisse dieser Versuche keinen Anspruch auf Zuverlässigkeit erheben.

Um einen Anhalt über die in München lediglich als Thau an den Pflanzen abgesetzten Wassermengen zu gewinnen, wurde, da eine direkte Messung in allen Fällen nicht ausführbar erschien, die Zahl der Tage mit Thaufall notirt und die Größe desselben nach einer dreitheiligen

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. IV. 1881. S. 138.

Skala, nämlich als starker, mittelstarker und schwacher Thau abgeschätzt. Bei Bemessung der absoluten Wassermenge, welche diesen drei Kategorieen etwa entsprechen würde, wurden die in Abschnitt III ermittelten Werthe zu Grunde gelegt und somit für einen

	starken	mittelstarken Thaufall	schwachen
eine Wassermenge von	54	40	19 gr pro 1000 qcm
oder von	0,54 mm	0,40 mm	0,19 mm

angenommen. Hiernach wurde nun die Höhe des Thauniederschlages während der Jahre 1881 und 1882 in der aus folgender Tabelle ersichtlichen Weise berechnet:

Zahl der Tage mit Thau[1]) in München:

Datum.	1881. Starker Thau.	1881. Mittelstarker Thau.	1881. Schwacher Thau.	1882. Starker Thau.	1882. Mittelstarker Thau.	1882. Schwacher Thau.
Januar	0	0	0	0	0	0
Februar	0	0	0	0	0	0
März	0	0	0	1	1	1
April	3	0	0	6	1	2
Mai	3	4	4	2	2	7
Juni	4	3	3	5	3	0
Juli	6	1	7	6	2	0
August	6	3	1	7	0	2
September	8	2	2	8	3	1
Oktober	1	2	0	4	3	4
November	3	1	1	2	1	0
Dezember	0	0	0	0	0	0
Summa	34	16	18	41	16	17

Hiernach würde sich die jährliche Thaumenge unter Zugrundelegung der vorerwähnten Daten wie folgt berechnen:

[1]) Mit Ausschluß der Tage mit Reif, weil letzterer nach *Aitken* (Diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 430) nicht, wie man gewöhnlich annimmt, als gefrorener Thau aufzufassen ist. Ebenso sind alle Tage außer Betracht geblieben, an denen der Niederschlag auf den Pflanzen durch Dunst oder Nebel hervorgerufen wurde.

Jährliche Thaumenge (mm).

	Starker Thau.	Mittelstarker Thau.	Schwacher Thau.	Summa.
1881	18,36	6,40	3,42	**28,18**
1882	22,14	6,40	3,23	**31,77.**

Die gesammte Niederschlagsmenge betrug im Jahre

1881	**813,50**
1882	**982,60.**

Die Thaumenge stellte sich mithin auf **3,46%** resp. auf **3,23%** der sämmtlichen Niederschläge, war also im Vergleich zu letzteren außerordentlich gering.

V. Die Bedeutung des Thaues für das Pflanzenleben.

Auf Grund der im Bisherigen mitgetheilten Gesetzmäßigkeiten wird man sich von der Rolle, die dem Thau im Leben der Pflanze zuertheilt ist, insofern zunächst keine sehr günstige Meinung bilden können, als einerseits die Wasserzufuhr an sich eine geringe ist, und andererseits der Thau in größeren Mengen nur bei einem reichlichen Wasservorrath im Boden, also in Perioden gebildet wird, in welchen die Gewächse eines solchen Niederschlages nicht bedürfen. In Trockenperioden hingegen, in welchen der Boden mehr oder weniger tief ausgetrocknet und jede auch noch so geringe Wasserzufuhr von großem Nutzen für die Vegetation wäre, bleibt der Thau aus, falls die Pflanzen nicht zu den tiefwurzelnden und in Folge dessen zu jenen gehören, welche die Feuchtigkeit des Untergrundes sich anzueignen vermögen. Auch würde der Umstand, daß der Thau seinen Ursprung aus dem Boden herleitet, nicht zu Gunsten eines besonders vortheilhaften Einflusses desselben auf die Vegetation sprechen, falls nicht etwa die durch seine Ablagerung bewirkte Verminderung des Verdunstungsverlustes aus dem Boden in Anrechnung gebracht werden will.

In gleicher Weise sind auch die bezüglich des Verhaltens des Thauwassers zu den Blättern der Pflanzen ermittelten Thatsachen keineswegs geeignet, von der Nützlichkeit des Prozesses für die Vegetation eine günstige Vorstellung zu gewinnen. Um hierin sicher zu gehen, wird man sich vor Allem Klarheit darüber zu verschaffen suchen müssen, ob ein Uebergang des Thauwassers in die Blätter möglich sei, und ob etwa

eine Veränderung in dem Verhalten letzterer durch die Benetzung hervorgerufen werde.

Die Frage, ob die Blätter der Landpflanzen bei der Benetzung durch Regen und Thau Wasser aufzunehmen im Stande seien, ist schon sehr häufig ventilirt und zum Gegenstand von zahlreichen Versuchen gewählt worden, welche indessen keine erheblichen Resultate geliefert haben[1]). Als sicher kann angenommen werden, daß die Blätter, wenn sie mit Wasser strotzend erfüllt sind, von Außen her kein Wasser aufnehmen, daß aber im welken Zustande derselben unter Umständen, je nach der Beschaffenheit der Cuticula resp. der Spaltöffnungen, kleine Wasserquantitäten in das Gewebe eindringen können. Allein die auf diesem Wege in den Pflanzenkörper eintretenden Mengen von Wasser sind nicht erheblich und bei Weitem nicht ausreichend, daß dadurch die Thätigkeit der Wurzeln und der Transpiration unterstüzt würde. Aus solchen Thatsachen wird gefolgert werden müssen, daß der Thau durch etwaigen Uebergang des Wassers in die Blätter der Pflanzen nur einen geringen Einfluß wird ausüben können.

In Bezug auf die durch den Thau bewirkten Veränderungen in dem Verhalten der Blätter haben verschiedene Beobachtungen[2]) zu dem bemerkenswerthen Resultat geführt, daß benetzte grüne Pflanzentheile, wenn sie gleich einen höheren Wassergehalt besitzen als andere bei trockener Witterung abgeschnittene, dennoch rascher austrocknen als letztere. «Die verstärkte Transpiration und beschleunigte Wasserbewegung bei benetzten Blättern kommt wahrscheinlich in der Weise zu Stande, daß die Wände der mit Wasser in Berührung kommenden Zellen (Oberhaut- und Schwammparenchymzellen) quellen und durch den Druck des Zellinhaltes gedehnt werden. Durch beide Prozesse werden die Wandmicelle aus einander gedrängt und die Wasserbewegung erleichtert durch Erweiterung der Strömungsbahnen. Es ist aber nicht zu bezweifeln, daß auch die Spaltöffnungen bei dem rascheren Welken benetzt gewesener Blätter betheiligt sein können, wenn sich etwa im Verlaufe des Verweilens unter Wasser

---

[1]) *Jul. Sachs*, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 1882. S. 305.

[2]) Vergl. *F. Haberlandt*, Wissenschaftlich-praktische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues. Bd. II. Wien. 1877. S. 130. — *J. Böhm*, Diese Zeitschrift. Bd. I. 1879. S. 459. — *J. Wiesner*, Ebenda. Bd. VI. 1883. S. 159 und Bd. VII. 1884. S. 177.

ein Zustand einstellt, in dem die Stomata durch weite Oeffnung die Verdunstung befördern.» *(J. Wiesner).*

Bei Blättern, welche äußerlich ganz trocken sind, befindet sich auch die Oberhaut in einem Zustande, in welchem sie der von Innen her stattfindenden Transpiration einen größeren Widerstand entgegensetzen wird. Die auf molekular-kapillarem Wege nach Außen stattfindende Wasserleitung ist bei solchen Blättern gewissermaßen unterbrochen, und diese verhalten sich ähnlich wie ein Boden, der oberflächlich abgetrocknet ist und in diesem Zustande weniger Wasser durch Verdunstung verliert, als derselbe Boden, wenn er bis zur Oberfläche durchfeuchtet ist[1]).

Aus dem geschilderten Verhalten benetzter Blätter hat nun *J. Wiesner* die Schlußfolgerung abgeleitet, daß der Thau besonders in dem Falle, wo der Boden mit geringeren Wassermengen versehen ist, ungünstig auf die Pflanze durch Förderung der Transpiration einwirke. Indessen hat er dabei außer Acht gelassen, daß die Wirkung der Benetzung in der bezeichneten Weise erst dann hervortritt, wenn die auf den Blättern und Sproßaxen abgelagerte Wasserschicht verschwunden ist, daß sie aber, so lange der Thau auf den Pflanzen liegt, nicht in die Erscheinung tritt. Während der oft stundenlang dauernden Bethauung dürfte aber den Pflanzen dadurch ein Vortheil erwachsen, daß durch die Schutzdecke die Transpiration aus den oberirdischen Organen verhindert ist, und in Folge dessen der Wasservorrath im Boden geschont wird. Hierdurch dürfte der Nachtheil einer späterhin eine Zeit lang gesteigerten Verdunstung nicht allein ausgeglichen, sondern in einigen Fällen sogar überwogen werden.

Was die Erscheinung, daß Blätter und Sproßaxen, welche bei heißer, trockener Witterung am Tage welk geworden sind, während der Nacht wieder frisch werden, betrifft, so ist dies nicht etwa auf die Aufnahme von Wasser aus dem gegebenen Falls aufliegenden Thau, sondern einfach darauf zurückzuführen, daß bei der Verminderung der Transpiration während der insolationslosen Zeit, aber bei fortgesetzter Wasserzufuhr von unten her die Turgeszenz der Organe wieder hergestellt wird. Der Thau unterstützt nur diesen Vorgang, indem er zu einer weiteren Herabsetzung der Verdunstung Veranlassung giebt, aber er ist für den-

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. III. 1880. S. 325.

selben nicht unbedingt nothwendig, weil die Turgeszenz der Organe auch ohne Thau zu Stande kommt.

Es erübrigt schließlich, der Vollständigkeit wegen noch einer Wirkung des Thaues Erwähnung zu thun, welche darin bestehen soll, daß durch die Ablagerung des Niederschlages die nächtliche Abkühlung gemäßigt, zuweilen aufgehalten wird und die Pflanzen gegen den Morgenfrost geschützt werden[1]). Man sucht diese Ansicht durch die Thatsache zu begründen, daß bei der Kondensation des Wasserdampfes Wärme frei wird. Da diese sehr beträchtlich sei — 1 gr Thau vermag 1 cbm Luft um 2° zu erwärmen, — so nähme, wie man weiter schließt, die Temperatur des Körpers, so lange sich Wasserdampf als Thau an demselben ablagert, nur langsam ab und seien sonach Pflanzen unter derartigen Umständen vor den schädlichen Einflüssen niederer Temperaturen geschützt.

Bei näherem Eingehen auf diese Verhältnisse ergiebt sich jedoch, daß die geschilderten Wirkungen in ihrem Betrage sehr gering ausfallen. Um dies zu verstehen, hat man besonders die bezüglich der Dauer des Vorganges hervortretenden Erscheinungen in Betracht zu ziehen. Es kann sich auf den Pflanzen innerhalb eines kurzen Zeitraumes viel Thau bilden, oder der Prozeß erstreckt sich über den größten Theil der Nacht. Im ersteren Fall wird die in größeren Mengen frei werdende Wärme möglicherweise den Einfluß der nächtlichen Strahlung aufheben, aber diese Wirkung wird nur von kurzer Dauer sein können, weil in dem übrigen Theil der Nacht die Kondensation des Wasserdampfes nur eine geringe ist. Erstreckt sich der Vorgang über die ganze Nacht oder doch über einen großen Theil derselben, so ist die innerhalb der Zeiteinheit gebildete Wärmemenge zu gering, um irgend welche merkbaren Wirkungen auf die Temperatur der erkaltenden Pflanzendecke auszuüben.

In keinem Falle werden aber, wie die an einem anderen Orte mitgetheilten Beobachtungen[2]) über die Temperatur an der Oberfläche des Bodens oder der Pflanzen zeigen, die Wirkungen der nächtlichen Strahlung auf die Wärmeverhältnisse der untersten Luftschicht durch die bei der Thaubildung frei werdende Wärme aufgehoben, im Gegentheil erweist

---

[1]) *J. Jamin*, Beitrag zur Theorie der Thaubildung. Diese Zeitschrift. Bd. III. 1880. S. 106.

[2]) Diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 137—142 und Bd. XII. 1889. S. 357—364.

sich die Strahlung von maßgebendstem Einfluß, wie schon aus der Thatsache hervorgeht, daß die Luft unmittelbar über den Pflanzen sich weit beträchtlicher abkühlt, als über dem nackten Boden, obwohl auf jenem eine weit ergiebigere Thaubildung stattfindet als auf diesem. Daß für die Erkaltung der Bodenoberfläche die Strahlung von hauptsächlichster Bedeutung ist, ergiebt sich übrigens aus dem eigenthümlichen Verhalten der Moorböden im Frühjahr und Herbst. Bekanntlich treten auf diesen Böden Nachtfröste viel häufiger als auf anderen Bodenarten und nicht selten noch während der wärmeren Jahreszeit auf, trotzdem die Thaubildung auf dem Moorboden, wie oben dargethan wurde, in größerem Umfange stattfindet als auf Böden mineralischen Ursprungs.

Bei Zusammenfassung aller angeführten Momente kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die nützlichen Wirkungen des Thaues auf die Pflanzen sich innerhalb sehr enger Grenzen bewegen, und daß deshalb die bezüglichen in weiten Kreisen bestehenden übertriebenen Anschauungen in einem grellen Widerspruch zu den thatsächlichen Verhältnissen stehen.

Neue Litteratur.

***Bliznine.* Ueber die meteorologischen Bedingungen des Ertrages von Winterweizen** im Jelisavetgrad'schen Kreise des Gouvernements Cherson. Referat von *W. Köppen* in der meteor. Zeitschrift. 1891. Heft 12. S. [83].

Von den 15 Jahren 1875—89 gaben 1888, 1878 und 1887 reiche Ernten, 1882, 1889, 1875 und 1876 Mißernten von Winterweizen; die Jahre 1880 und 1886 müssen wegen Insektenfraß außer Betracht bleiben; die übrigen sieben gaben Mittelernten. Die 15jährigen Mittel und die mittleren Abweichungen von denselben bei diesen drei Jahresgruppen waren in Jelisavetgrad wie folgt:

Temperatur.

	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli
15jähr. Mittel .	20,1	14,6	8,5	2,4	— 3,1	— 6,4	— 5,0	— 0,4	8,2	15,4	19,7	21,7
Gute Ernte . .	+ 0,3	+ 0,5	— 1,3	+ 1,6	+ 3,4	+ 0,8	— 1,4	+ 0,7	+ 0,7	+ 0,6	— 1,4	— 2,0
Mittlere Ernte .	— 0,2	+ 0,8	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,6	— 0,9	+ 1,3	— 0,1	— 0,5	— 0,6	0,0	+ 0,1
Schlechte Ernte	+ 0,6	+ 0,8	— 0,2	— 1,2	— 1,4	+ 0,4	+ 1,4	0,0	+ 0,2	+ 0,2	+ 1,1	+ 1,8

Tage mit Niederschlag.

	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli
15jähr. Mittel .	7	6	7	9	8	6	9	10	8	10	10	10
Gute Ernte . .	— 0,7	+ 2,0	0,0	— 0,3	+ 2,7	+ 2,7	— 3,0	— 0,3	+ 2,3	— 3,0	+ 1,0	+ 2,3
Mittlere Ernte .	— 0,7	— 0,2	— 0,8	— 1,7	+ 0,7	— 1,0	+ 1,5	+ 0,8	+ 2,2	+ 0,7	— 0,3	— 0,2
Schlechte Ernte	0,0	— 1,2	+ 0,2	+ 1,5	— 0,5	— 0,2	+ 2,0	— 1,2	— 1,5	+ 1,0	— 1,0	— 2,5

Bewölkung.

	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli
15jähr. Mittel .	45	45	65	80	80	74	76	72	62	56	53	51
Gute Ernte . .	— 6,3	+ 2,7	+ 0,7	— 1,3	+ 6,7	— 0,7	— 2,0	— 1,3	— 2,0	— 4,3	+ 5,0	+ 2,0
Mittlere Ernte .	— 1,0	— 0,3	— 5,3	+ 1,3	— 1,0	— 2,8	+ 4,8	+ 5,8	+11,0	+ 1,7	— 0,8	— 0,3
Schlechte Ernte	— 4,2	— 5,2	0,0	— 2,5	— 4,0	+ 2,2	+ 2,0	— 5,2	— 9,2	— 0,2	— 5,5	— 6,0

Das Obige ist nur ein kleiner Auszug aus den Tabellen des Verf., welche die einzelnen Jahrgänge, auch für einige andere Elemente (Regenmenge, Luftfeuchtigkeit u. s. w.) enthalten, die wir als weniger charakteristisch fortlassen. In den beigegebenen graphischen Darstellungen tritt der fast genau entgegengesetzte Gang der Abweichungen in guten und schlechten Weizenjahren bei der Temperatur und den Niederschlagstagen noch viel deutlicher hervor, als in unseren Zahlentabellen.

In der Diskussion erwähnt der Verf. mit Recht, daß auf die Ernte sehr viele Einflüsse wirken [1]), die schwer auszudrücken oder nicht beobachtet sind, und bedauert, keine Angaben über Schneedecke und Bodentemperatur machen zu können. Von anderen Elementen zeigt die Zahl der «Eistage» keine Beziehung zum Ertrage. Die Größe der mittleren Differenz zwischen den Abweichungen aufeinanderfolgender Monate ist im Allgemeinen in den besseren Jahren kleiner

[1]) Vergl. die Beobachtungen von *J. B. Lawes* und *J. H. Gilbert.* Diese Zeitschrift. Bd. IV. 1881. S. 112 u. 125.

als in den schlechten. Im Uebrigen wollen wir uns die obige Tafel unabhängig vom Verf. ansehen.

Die Schwierigkeit besteht darin, daß wir nie bestimmt wissen, welche meteorologischen Daten mit dem Ernteergebniß ein inneres, gesetzmäßiges und welche nur ein zufälliges Verhältniß haben. Als Bedingung für die Anerkennung des ersteren dürfen wir wohl verlangen, daß die Werthe des betreffenden Elements bei schlechten Ernten entgegengesetzten Werth haben als bei guten, und bei mittleren Ernten einen mittleren Werth. Denn wenn die letzteren stark vom Mittel abweichen, so müssen sowohl die guten als die schlechten Erntejahre nach derselben, den ersteren entgegengesetzten Seite abweichen (wie z. B. im Frühling bei der Bewölkung, vergl. oben), ein Resultat, welches es wahrscheinlich macht, daß die betreffenden Zahlen überhaupt mit der Ernte in keinem Zusammenhang stehen. Gehen wir von dieser Forderung aus, so sind es hauptsächlich die Monate Juni—Juli, welche ein charakteristisches Ergebniß liefern. Sie waren in schlechten Erntejahren heiß, trocken und heiter, in guten kühl, relativ regenreich und bewölkt[1]). In Südrußland ist es die Dürre, in Deutschland die Nässe, welche die Ernte hauptsächlich gefährdet. «Die Sonne scheint keinen Bauern aus dem Lande» ist ein vorwiegend für Norddeutschland gültiges Sprüchwort. In Jelisavetgrad zeigt die Mitteltemperatur von Juni und Juli, wenn man die Jahrgänge nach abnehmenden Erträgen des Winterweizens ordnet, folgende Abweichungen vom Normalwerth: —1,6, —1,2, —2,4, —1,3, —0,6, —0,1, —0,7, +1,3, —0,6, +2,3, +1,2, +0,6 +3,1, +1,0, also mit wenigen Ausnahmen je wärmer um so schlechter. Im kühlsten Sommer, 1887, betrug die Ernte 95 Pud vom Hektar, im heißesten, 1875, nur 15!

Nicht ganz so regelmäßig, aber doch recht auffallend, ist das Verhalten der Wintermonate; die guten Erntejahre hatten einen milden, feuchten und trüben, die schlechten einen kalten, trockenen und heiteren Dezember, während der Februar sich umgekehrt verhielt. Das Erfrieren des Kornes scheint also viel eher durch einen kalten und schneelosen Dezember hervorgebracht zu werden, als durch einen solchen Februar. Vielleicht wirkt die im Dezember höhere Bodentemperatur dazu mit, daß Kälte der Atmosphäre im Dezember schädlich, im Februar nützlich ist. Ein bedeutender Temperatur-Unterschied zwischen den Bedingungen, unter denen Wurzel und Blatt stehen, wirkt eben häufig verderblich.

***W. F.* und *W. H. Caldwell*. Beziehung der meteorologischen Bedingungen zu dem Wachsthum des Mais.** Annual Report of the Pennsylvania State College for the year 1889. Harrisburg. 1890. p. 223—229.

Der hauptsächlichste natürliche Einfluß, welcher das Wachsthum der Ernte an jeder Oertlichkeit beherrscht, ist das Klima. Dasselbe ist von weit größerem Einfluß als die Fruchtbarkeit des Bodens, obgleich dieser Faktor des Pflanzenlebens an ein gewisses Minimum gebunden ist; denn es ist eine bekannte Thatsache, daß außergewöhnlich günstige klimatische Verhältnisse gute Ernten selbst auf einem relativ unfruchtbaren Boden bedingen.

---

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XII. 1889. S. 423.

Jede Pflanze hat ein ihr vornehmlich zusagendes Klima. Es ist eine besondere Eigenschaft der kultivirten Pflanzen, im Vergleich mit den wildwachsenden Arten und Varietäten, daß sie noch gut in weiteren klimatischen Zonen gedeihen können, als dies bei den ursprünglichen unkultivirten Arten der Fall ist. Aber ein Klimawechsel hat in der Regel eine Abänderung in der Entwickelung der Pflanze zur Folge.

Die Maispflanze besitzt bei ihrem großen Anbaubezirk eine entsprechende Menge von verschiedenen Varietäten; von den hohen, lang beährten Formen des Südens zu den niedrigen, kleinährigen, aber reichlich körnererzeugenden des Nordens. Trotz dieser außergewöhnlichen Anpassungsfähigkeit an die umgebenden Bedingungen ist dennoch die Maisernte durch die Jahreswitterung ebenso als irgend eine andere Ernte beeinflußt. Mit anderen Worten: die zur Hervorbringung der besten Ernten günstigen Bedingungen bewegen sich innerhalb einer engen Grenze für jede Varietät, welche sich durch eine lange Kultur dem gewöhnlichen Klima einer gegebenen Lokalität angepaßt hat. Es ist eine bekannte Thatsache, daß bei all ihrer Anpassungsfähigkeit die Maispflanze in England wegen der dort herrschenden kalten, feuchten, wolkigen Sommer nicht zur Reife gebracht werden kann, und es besteht kein Zweifel, daß die Hitze des amerikanischen Sommers, selbst in höheren Breitegraden, das eigentliche klimatische Element ist, welches die Kultur dieser werthvollen Pflanze über eine so ausgedehnte Fläche, welche von Mittel-Amerika bis Canada reicht, ermöglicht.

Die Kenntniß, welche wir von den Wirkungen der verschiedenen, unser Klima bildenden Elemente besitzen, ist noch sehr lückenhaft, und die Resultate verschiedener Beobachtungsreihen über das Wachsthum des Mais sind mit den zu gleicher Zeit angestellten meteorologischen Beobachtungen verglichen worden, in der Hoffnung, daß mittelst eines solchen Vergleiches sich jene Elemente bestimmen lassen würden, welche den günstigsten Einfluß auf das Wachsthum ausüben. Die Schwierigkeit, hierdurch zu einem genauen Resultat zu gelangen, wird man begreifen, wenn man die vielen hierbei in Betracht kommenden Elemente berücksichtigt.

Zunächst ist hervorzuheben, daß eine Aenderung irgend eines meteorologischen Faktors gleichzeitig mit einer solchen der übrigen Faktoren verknüpft ist, derart, daß es Schwierigkeiten bereitet, eine bestimmte Beziehung des Wachsthums zu dem abgeänderten Element ausfindig zu machen. Es ist klar, daß, um diese Schwierigkeit zu überwinden, eine sehr lange Reihe von sorgfältigen Beobachtungen nothwendig ist.

Eine andere Schwierigkeit von nicht geringerer Bedeutung stellt sich von selbst dar. Das wahre Maß für das Wachsthum einer Pflanze ist die Zunahme ihres Trockengewichtes. Es ist eine wohlbekannte Thatsache, daß die sichtbare Entwickelung der Pflanzenorgane nicht immer von einer entsprechenden Zunahme des Trockengewichtes begleitet ist. Dies sieht man in dem Falle, wo ein sehr starkes Wachsthum der Pflanze nach einem Regenfall eintritt, wobei ein beträchtlicher Theil der Vergrößerung einer Ausdehnung der Pflanzenzellen durch Wasser, welches vorher in ungenügender Menge darin vorhanden war, zuzuschreiben ist. Da jedoch keine Methode ersonnen worden ist, welche, sei es direkt oder durch Vergleich, das Trockengewicht einer wachsenden Pflanze zu bestimmen

vermöchte, so ist es nothwendig anzunehmen, daß für den Zweck der Vergleichung die Feststellung der Entwickelung der Pflanzenorgane für vorliegende Verhältnisse geeignet sei; doch muß auch hierbei bemerkt werden, daß es äußerst schwierig ist, ein exaktes Resultat zu erhalten.

Die 1887 begonnenen Beobachtungen wurden in diesem Jahre (1889) fortgesetzt. Statt des bisher verwendeten akklimatisirten gelben Zahnmais wurden zwei andere Varietäten (Champion Perl White und Piasa Queen) gewählt, welche sich übrigens für unser Klima als gut geeignet erwiesen hatten. Zu den Versuchen dienten sechs ausgewählte Pflanzen, bei denen die Höhezunahme in Intervallen von mehreren Tagen bestimmt wurde. Aus den erhaltenen Daten wurde das Mittel für das tägliche Wachsthum der sechs Pflanzen berechnet. Aus einer graphischen Darstellung der erhaltenen Resultate, sowie der Beobachtungen über die wichtigsten meteorologischen Elemente (Temperatur der Luft und des Bodens, Luftfeuchtigkeit, Bewölkung, Regenfall) läßt sich ohne Weiteres entnehmen, daß die Temperatur der Luft und des Bodens, wie in den beiden Vorjahren, den wesentlichsten Einfluß auf das Wachsthum ausgeübt hatte, während sich zwischen letzterem und den übrigen meteorologischen Elementen keine gesetzmäßigen Beziehungen erkennen ließen.

Im Verlauf dieser Versuche haben die Verf. auch Beobachtungen über die Größe des Wachsthums während des Tages und der Nacht angestellt. Aus den diesbezüglichen pflanzenphysiologischen Beobachtungen ist zu entnehmen, daß am Tage eine Verlangsamung, in der Nacht eine Beschleunigung des Längenwachsthums eintritt, die bei den einen Pflanzen schneller, bei den anderen Pflanzen langsamer zur Geltung kommt und spezifisch verschiedene Ausgiebigkeit erreicht. (*W. Pfeffer*. Pflanzenphysiologie. 1881. II. p. 99.)

Eines der gewöhnlichsten Beispiele für die wachsthumsretardirende Wirkung des Lichtes bieten jene Pflanzen, welche sich nach der Lichtseite wenden; bei diesen zeigt die beleuchtete Seite ein geringeres Wachsthum als die vom Lichte abgewendete. Ebenso ist durch Beobachtungen festgestellt worden, daß empfindliche Pflanzen, wenn sie intensiven Lichtquellen ausgesetzt werden, zu Grunde gehen. Ferner wurde beobachtet, daß Pflanzen, welche am Tage der Insolation und während der Nacht dem elektrischen Bogenlicht ausgesetzt wurden, weniger gediehen, als solche, welche während der Nacht nicht beleuchtet wurden.

Bei den im offenen Felde wachsenden Pflanzen darf nicht übersehen werden, daß die Unterschiede zwischen Tag und Nacht nicht nur in solchen bezüglich der Lichtwirkung, sondern auch in solchen hinsichtlich der Temperatur bestehen, welch letztere nach obigen Darlegungen sich unter den verschiedenen klimatischen Vegetationsfaktoren von maßgebendstem Einfluß für die vorliegende Oertlichkeit gezeigt hatte.

Die folgende Tabelle enthält die Daten für den mittleren Längenzuwachs bei Tag und Nacht während 23 Tagen, sowie für die Größe des stündlichen Zuwachses und das Maximum und Minimum der Temperatur, behufs Charakterisirung der Wärmeverhältnisse während beider Perioden. Der Tag zählte 9,5, die Nacht 14,5 Stunden.

Längenzuwachs bei Mais in 1/1000 Fuß während der Nacht.

Datum.	Im Ganzen.		Stündlich.		Temperatur.	
	Tag.	Nacht.	Tag.	Nacht.	Maximum ° Fahr.	Minimum ° Fahr.
5. Juli	112	117	11,78	8,07	77	52
6. »	146	188	15,37	12,96	80	57
7. »	158	217	16,63	14,96	86	63
8. »	175	200	18,46	13,79	87	64
9. »	192	300	20,21	20,68	89,5	65
10. »	133	287	14,01	19,79	90	66
11. »	142	179	14,95	12,34	85	57
12. »	146	221	15,37	15,24	85	60
13. »	158	242	16,63	16,69	81,5	63
14. »	188	225	19,79	15,52	84	57
15. »	79	108	8,32	7,45	71	50
16. »	129	146	13,58	10,07	75	56
17. »	158	233	16,63	16,07	81	57
18. »	150	270	15,79	18,62	81	67,5
19. »	125	242	13,16	16,69	80	66
20. »	171	158	18,00	10,90	83	59
21. »	108	196	11,37	13,52	79,5	56
22. »	162	179	17,05	12,34	83	60
23. »	125	192	13,16	13,24	79	55,5
24. »	83	125	8,74	8,62	76	48,5
25. »	75	125	7,90	8,62	79	52
26. »	117	167	12,31	11,52	70	63
27. »	175	217	18,46	14,96	80	63
Mittel	139,4	197,5	14,68	13,62	81	59

Die Mittel für das tägliche und nächtliche Wachsthum zeigen, daß 3/5 des Gesammtwachsthums während 24 Stunden auf die Nacht entfallen, d. i. von 5 h. p. m. bis 7 h. 30 a. m. Allerdings erhielten die Pflanzen während dieser Zeit etwas Sonnenschein, aber nur für wenige Stunden und von sehr geringer Intensität. Werden die betreffenden Daten pro Stunde für Tag und Nacht berechnet, so ergiebt sich, daß das stündliche Wachsthum während der Nacht etwas geringer ist als während des Tages. Letztere Unterschiede sind offenbar bedingt durch solche in der Temperatur beider Perioden, denn wie ein Blick auf die beiden letzten Kolumnen lehrt, befanden sich die Pflanzen bei Tage unter ungleich günstigeren Wärmeverhältnissen als während der Nacht. Daß die Temperatur in der That in vorliegendem Falle mit zur Wirkung gelangte, zeigen überdies die Beobachtungen an den Tagen mit hohen Nachttemperaturen; hier war auch das stündliche Wachsthum während der Nacht größer als am Tage (10., 18., 19. Juli).

Die mitgetheilten Thatsachen zeigen sonach, daß unter den vorliegenden Verhältnissen die Temperatur der wichtigste klimatische Wachsthumsfaktor ist. Die höhere Temperatur am Tage beseitigt die retardirende Wirkung des Lichtes, so daß das Wachsthum am Tage größer ist als bei der Nacht, mit Ausnahme

der relativ warmen Nächte, in welchen sich diese Erscheinungen umgekehrt gestalten. *E. W.*

***W. Krebs.* Verhältnisse zwischen thierischer und pflanzlicher Produktion und ihre klimatische Ursache.** Meteor. Zeitschrift. 1891. Heft 8. S. 308.

In einem Aufsatz der Zeitschrift für wissenschaftliche Geographie, Bd. VIII, 1891, S. 80—86, hat Verf. aus den Ausfuhrstatistiken von 93 Staaten die Verhältnisse festgestellt, in welchen die thierische zur pflanzlichen Produktion innerhalb der zehn Zehngradzonen von 60° nördlicher bis 40° südlicher Breite steht. Verf. berechnete die Prozente der Ausfuhrwerthe thierischer in denjenigen pflanzlicher Herkunft und bezeichnete sie als arktoide Prozente, da arktische und subarktische Gebiete im Gegensatz zu tropischen ein oft ausschließliches Vorwalten thierischer Produktion zeigen.

	Breitenzonen.									
	N. 60-50	50-40	40-30	30-20	20-10	10-0	S. 0-10	10-20	20-30	30-40.
	Arktoide Prozente.									
1)	322	115	55	24	12	19	38	118	563	1042.

Vergleicht man die nach diesen Zahlen hergestellte Kurve arktoider Produktion mit der Kurve der von *Spitaler* berechneten Mitteltemperaturen, so wird die nächste Beziehung von der Temperaturkurve des Juli gegeben. Denn 100% arktoider Produktion werden gerade dort, im Norden wie im Süden des Aequators, überschritten, wo die mittlere Julitemperatur auf etwa 20° C. herabsinkt. Da der Juli der wärmste Monat der Nord- und der wolkenärmste der Südhemisphäre ist, sprach Verf. die Vermuthung aus, daß es sich in erster Linie um einen Einfluß der Belichtung, also eine Begünstigung des Pflanzenlebens handelt, durch welche unter sonst diesem günstigen Bedingungen die thierische Entwickelung in den Hintergrund gedrängt wird.

Diese Spur hat Verf. weiter verfolgt und für das klimatologisch am besten erforschte, aber auch aus geographischen Gründen sehr geeignete Gebiet zwischen 20 und 50° n. Br. bestätigt gefunden.

Jenen meteorologischen Einfluß kann man genauer als die Strahlungswirkung, besonders Lichtwirkung der Sonne bezeichnen. Verf. machte den Versuch, dieselbe aus dem Zahlenmaterial annähernd zu berechnen, welches in der deutschen Ausgabe von *Woeikof*'s: «Klimate der Erde» niedergelegt ist.

Nach *Spitaler* betragen die mittleren Jahrestemperaturen der drei Zonen:

	50-40	40-30	30-20° n. Br.
2)	9,7	17,1	23,2° C.

Die mittlere Bewölkung berechnete Verf. wie die arktoiden Prozente zunächst für Fünfgradzonen und mittelte sie danach zu Zehngradtypen.

	50-40	40-30	30-20° n. Br.
3) Mittlere Bewölkung	51,1	37,3	27,4.

Benutzt man die mittleren Jahrestemperaturen (2) als Signale für die Strahlungskraft der Sonne, welche jeder einzelnen der drei Zonen zukommt, so

entspricht das Verhältniß der Strahlungswirkungen in den drei Zonen demjenigen der Quotienten aus Temperatur (2) und Bewölkung (3):

$$4)\qquad \frac{9,7}{51,1} \qquad \frac{17,1}{37,3} \qquad \frac{23,2}{27,4}.$$

Da es sich um einen Vergleich mit den Prozenten arktoider Produktion handelt, welche durch die Strahlungswirkung benachtheiligt wird, sind diese Quotienten umzukehren:

$$5)\qquad \frac{51,1}{9,7} \qquad \frac{37,3}{17,1} \qquad \frac{27,4}{23,2}.$$

Da endlich nur das Verhältniß dieser Zahlenwerthe zu einander, nicht die Zahlenwerthe selbst verglichen werden, ist es gestattet, dieselben mit einem konstanten Faktor zu multipliziren.

Die mit 25 multiplizirten Werthe der Quotienten (5) ergaben für die

Zehngradzonen	50—40	40—30	30—20° n. Br.
Strahlungswirkung	131,7	54,5	29,5
Die Prozente arktoider Produktion nach (1) .	115	55	24.

Berücksichtigt man, daß beide Reihen nur Näherungswerthe enthalten, so ist die Uebereinstimmung derselben eine sehr große zu nennen, spricht also durchaus für den vermutheten Einfluß der Strahlungswirkung auf die Produktion.

***K. Hess.* Ueber den Einfluß der Wälder auf den Hagelschlag im Kanton Thurgau am 6. Juni 1891.** Meteor. Zeitschrift. 1891. Heft 11. S. 403.

Wenn man die Bahn des Hagelwetters, welches am 6. Juni Abends den Kanton Thurgau von West nach Ost durchzog, einer genaueren Prüfung unterwirft, so ist in erster Linie auffallend, daß die Grenzlinien des ganzen Hagelstreifens, d. i. die Linien, außerhalb derer statt der Hagelkörner nur ein Gewitterregen niederging, in nahezu gleichbleibender Breite (8 km) in westöstlicher Richtung verlaufen. Im Fernern zeigt sich, daß der Streifen größter Schädigung innerhalb der Grenzlinien im Zickzack hin und hergeht, bald den einen, bald den anderen Rand berührt und schließlich geradlinig in der Mitte verläuft. Es liegt der Gedanke nahe, daß das Unwetter oder die eigentliche Hagelwolke zwischen den zu beiden Seiten des Thurthales liegenden Höhen hin- und hergeworfen worden sei, wie das Wasser in einem verkiesten Flußbett oder ein elastischer Ball zwischen parallelen Wänden. Verschiedene Umstände sprechen jedoch gegen diese Auffassung. Wie die Grenzlinien unbeachtet der Höhenzüge und der eingeschlossenen Thäler geradlinig dahinzogen, so überschritt auch der Streifen größter Intensität Berge und Thäler, unbeachtet ihrer Höhenunterschiede; er überschritt den Irschel, überstrich den Stähelibuck und Wellenberg und überzog den Ottenberg seiner ganzen Länge nach. Die Stelle der eigentlichen Hagelbildung muß sich daher hoch über den höchsten Punkten der genannten Berge hinwegbewegt haben, und nur die Stelle der stärksten Entleerung scheint innerhalb des fortschreitenden, das Hagelwetter umgrenzenden, vertikalen Zylinders den Platz gewechselt zu haben.

Ein Beweis dafür, daß sich nur der Ort der intensivsten Entleerung innerhalb des geradlinig fortschreitenden Hagelwetters wellenförmig oder zickzacklinig hin- und herbewegt hat, und nicht das ganze Hagelwetter krummlinig fortgeschritten ist, liegt außer in den nahezu geraden Grenzlinien in den ungleichen Rändern oder Uebergängen zum Regen oder der niederschlagslosen Umgebung. In der Gegend von Ueßlingen ist auf der Nordseite der Uebergang vom starken Hagelschlag zum Regen ein viel rascherer als auf der Südseite; dort ist die Breite des schadlosen Randes ca. $1^1/_2$ km, hier dagegen 3 km. Bei Thundorf und Lustdorf ist das Umgekehrte der Fall; denn von Thundorf wird berichtet: Am Aergsten hauste das Unwetter auf dem Rücken des Wellenberges. Die Bäume wurden aller Früchte beraubt, viele Aeste wurden so zerschlagen, daß die Rinde in Fetzen herunterhängt. Das Gras kann nur mit großer Mühe noch abgeschnitten werden. Die Getreideäcker liefern keinen Ertrag mehr. In dieser Weise wurden betroffen die Höfe von Friedberg und Hessenbohl, ferner die Ortschaften Haarenweilen, Lustdorf, Wolfikon, Strohweilen, Bissegg und Amlikon. Südlich von Thundorf, in dem eine Viertelstunde entfernten Dörfchen Köll, fielen nur einzelne kleine Körner, ohne irgend etwas zu schädigen; auch regnete es dort ganz wenig. Das Gleiche ist der Fall in Wetzikon bei Lustdorf. Bei Thundorf und Lustdorf sind vom Südrande des Streifens stärkster Verheerung bis zum südlichen Rande der Gewitter- oder Hagelzone überhaupt kaum 2 km, vom Nordrande des Streifens größter Schädigung bis zum Nordrande des Hagels dagegen 4 km. Bei Wigoltingen und Märstetten ist der Nordrand wieder schmäler als der Südrand, während zwischen Berg und dem Bodensee die Uebergangsränder zu beiden Seiten ziemlich gleich breit sind.

Nach einem stark verbreiteten Volksglauben soll den Wäldern betreffs des Hagelschlages ein schützender Einfluß zuzuschreiben sein; es lag daher nahe, die betroffenen Gegenden in Hinsicht der Bewaldung und der gegenseitigen Lage von Wald und Schädigungsstreifen zu untersuchen. Von seinem Entstehungsorte aus überzog das Hagelwetter die ausgedehnten Waldungen um Hochfelden und Rorbas, überstrich die Wälder am Irschel, Wolfensberg, Bergbuck, ferner die Wälder zwischen Henggart und Dägerlen, zwischen Thalheim und Eschlikon, bei Altikon, Rickenbach, Ellikon und Lenzenhorben. Hier macht die Nordgrenze des Schadenstreifens plötzlich eine scharfe Wendung nach Südost, bestreicht die Wälder der Karthause Ittingen: der Streifen größter Schädigung durchquert das Thurthal, um sich von Frauenfeld an dem südlichen Thalrande nach fortzubewegen und die zwei Stunden langen Waldungen am Stähelibuck und Wellenberge zu überziehen und zu verheeren. Die Wälder am Wellenberge verlassend, wendet sich der Streifen nach dem Ottenberg, der besonders auf der Nordseite stark bewaldet ist, und darauf nach dem gegen den Bodensee abfallenden Seerücken, die großen Wälder bei Heimenlachen, Herrenhof und zwischen Sommeri und Güttingen einschließend. Die Schädigungen in den Wäldern sind sehr bedeutender Natur. Nach eigener Anschauung war der Boden im Galgenholz bei Frauenfeld mit Zweigen bis zu 1,5 cm Stärke dicht besäet. In den Waldungen am Stähelibuck und Wellenberg sollen nach zuverlässigen Berichten die Tannenreiser in einer mächtigen Schicht den Boden bedeckt haben, so daß einzig aus den Waldwegen die Reiser fuderweise abgeführt werden konnten. Würde man die überstrichenen

Wälder, so wie sie der Länge nach aufeinanderfolgen, aneinanderschieben, so würde sich eine Länge von ca. 34 km, also rund die halbe Länge des ganzen Hagelstreifens ergeben. In sämmtlichen Wäldern sind ausnahmslos starke Schädigungen vorgekommen. Diese Thatsache beweist vorderhand, daß wenigstens beim Hagelwetter vom 6. Juni selbst die größten Wälder nicht im Stande waren, den Hagelschlag zu stillen; ja sie vermochten, wie das die Schädigungen innerhalb der Wälder und auf den angrenzenden und eingeschlossenen Höhen beweisen, denselben nicht einmal zu mildern.

Im Weiteren zeigt uns die kartographische Aufzeichnung des Hagelschlages, daß in dem zwischen Dägerlen und Frauenfeld gelegenen Theile des Hagelgebietes die Hauptwäldermasse auf der Nordseite des Streifens liegt, nämlich bei Altikon, Buch, Lenzenhorben und Karthause Ittingen, von Frauenfeld bis Weinfelden dagegen auf der Südseite (Stähelibuek und Wellenberg bis Eschikofen), von Weinfelden bis Birwinken wieder auf der Nordseite und von hier an bis an den Bodensee auf die ganze Breite des Streifens ziemlich gleich vertheilt. Der Streifen intensivsten Hagelschlages liegt im untern (westlichsten) Kantonstheile auf der Nordseite des Hagelstreifens, überschreitet von Ueßlingen bis Frauenfeld das Thurthal, zieht sich über den Wellenberg, geht bei Eschikofen wieder auf die Nordseite hinüber und hält sich von Birwinken an fast genau in der Mitte des Gesammtstreifens. Wenn schon diese Zusammenstellung allein darauf hinweist, daß die großen Wäldermassen eine direktive Kraft auf die Hagelentleerungen ausgeübt zu haben scheinen, so machen die nachfolgenden Beobachtungen den Einfluß geradezu in hohem Maße augenscheinlich. Bei dem Uebergange von der Nordseite des Thurthales auf die Südseite zwischen Ueßlingen und Frauenfeld zeigt der Streifen größter Schädigung eine starke Einschnürung. Während derselbe zwischen dem Irschel und Ueßlingen eine Breite von 1,5 km besitzt, ist er bei Frauenfeld nicht mehr als 1,0 km breit. Ueber den Wäldern des Stähelibucks und Wellenbergs ist dagegen wieder eine sehr bedeutende Ausweitung oder Verbreiterung vorhanden, welche fast genau den Umrissen der Wälder entspricht und noch die anstoßenden Güter in sich schließt; der Streifen ist nicht getrennt, sondern hat hier eine Breite von 4½ km. Hierzu sei noch die Beobachtung eines Gewährmannes von Zezikon erwähnt; derselbe schreibt: «Das Schulhaus Zezikon liegt so eigentlich in der Grenze der Hagelzone. Die Hagelkörner fielen hier vereinzelt, und zwar auch in der Größe von Baumnüssen, unvermittelt, nicht ein Tropfen Regen war vorausgegangen. Auffallend ist, daß in einem in unmittelbarer Nähe gelegenen Tannenwald die Schlossen viel zahlreicher fielen.»

Aus dem Vorangehenden ergiebt sich, daß das Hin- und Herschwanken des Streifens stärkster Schädigungen innerhalb der ganzen Hagelzone durch die Situation der großen Waldkomplexe verursacht worden ist, und daß es also Hagelwetter giebt, bei denen die intensivsten Hagelentleerungen den großen Waldpartieen folgen, welche innerhalb der Gewitterzone liegen.

Wenn daher ein Hagelwetter von der Gattung des besprochenen sich von der Entstehungsstelle aus in Bewegung setzt, so wird es in der ursprünglich an-

genommenen Richtung über Berg und Thal geradlinig fortmarschiren und die darunter liegende Gegend mit Hagelkörnern überschütten, deren Dichte in einem waldlosen Gebiete von Außen nach Innen bis zur Mitte zunimmt; befinden sich aber an den Rändern der Zone große Wälder, so wird die intensivste Entleerung selbst durch den Wald begünstigt.

F. Mumme. **Der Einfluß der Bewölkung auf die tägliche Temperaturschwankung.** Inaug.-Dissert. Halle. Berlin. 1891. — Meteor. Zeitschrift. 1891. Heft 12. S. [77].

Woeikof hat in seinen Arbeiten über die Beziehung der topographischen Lage zur täglichen Temperaturschwankung den Einfluß der Bewölkung auf die letztere dadurch zu eliminiren versucht, daß er die Werthe der Amplitude mit einem konstanten Faktor, der von der mittleren Bewölkung der einzelnen Stationen abhing, multiplizirte. In der vorliegenden Schrift wird nun eingehend untersucht, wie bei verschiedener Ortslage der Einfluß der Bewölkung auf die tägliche unperiodische Temperaturschwankung sich ändert; es werden dazu benutzt die Beobachtungen von drei Berggipfeln — Pikes Peak, Schneekoppe, Hoher Peissenberg —, ferner die Aufzeichnungen von Eichberg als Thalstation, von München als Station auf einer Hochebene und von der Küstenstation in Borkum.

Bei weitem die größten Temperaturschwankungen weist Eichberg auf; Verf. selbst macht darauf aufmerksam, daß die große Amplitude für unser Klima nicht normal sei; jedoch kann die Wahl einer Station mit so extremen Temperaturverhältnissen die Resultate der vorliegenden Untersuchung nicht beeinträchtigen. Es mag aber an dieser Stelle erwähnt werden, daß auch nach neueren Ermittelungen die Lage von Eichberg im Allgemeinen als ungünstig für vergleichende klimatologische Betrachtungen angesehen werden muß; namentlich die Temperaturminima sind ungewöhnlich tief. Es folgt daraus, daß Eichberg als Basisstation für die Schneekoppe sich keineswegs so gut eignet, wie man bisher angenommen hat.

Der Verf. zeigt in seiner Arbeit, daß der Einfluß der Bewölkung auf die tägliche Temperaturschwankung mit der Bodenkonfiguration Hand in Hand geht. Der Einfluß der Bewölkung ist überall dort am größten, wo die Bedingungen für eine große Amplitude gegeben sind, also in Thälern und auf Hochebenen. Ungehinderte Einstrahlung läßt die durch klimatische und topographische Bedingungen schon an sich geschaffenen Unterschiede stärker hervortreten; bedeckter Himmel vermindert dieselben. Für das Verhältniß der Amplitude an heiteren Tagen zu derjenigen an trüben, welches nach *Lambert* (Pyrometrie 1779) 3 : 1 betragen soll, läßt sich nach dem Verfasser kein einheitlicher Zahlenwerth feststellen. Im Jahresmittel ist an den oben erwähnten sechs Stationen dieses Verhältniß im Maximum 2 : 1 (Thal und Hochebene), im Minimum 4 : 3 (Berggipfel, Küste). Am kleinsten ist der Werth im Winter; auf der Schneekoppe ist im Dezember sogar die tägliche Wärmeschwankung an trüben Tagen größer als an heiteren. Aehnliches findet sich angedeutet auf dem Pikes Peak, wo im Dezember die Amplitude an heiteren Tagen geringer ist, als die Amplitude aller Tage ohne Rücksicht auf Bewölkung. Eine andere Eigenthümlichkeit zeigt Bor-

kum, indem hier entgegen dem Verhalten an anderen Stationen der Einfluß der Bewölkung im Winter am größten ist, im Sommer am kleinsten. Es offenbart sich dies dadurch, daß die Amplitude für heitere Tage im Sommer durch eine Wolkendecke nur um 20 Prozent vermindert wird, im Winter aber um 36 Prozent.

Um einen Einblick in die Ursachen der geschilderten Verhältnisse zu gewinnen, sind auf zwei Tafeln, welche als Ordinaten die Temperaturen enthalten, für jede Station die mittleren Temperatur-Maxima und Minima für heitere Tage, für alle Tage ohne Rücksicht auf Bewölkung und für trübe Tage in gleichmäßigen Abständen eingezeichnet. Für jede Jahreszeit ist eine solche Darstellung gegeben. Im Winter zeigen sich an allen Stationen die Temperaturmaxima durch die Bewölkung wenig beeinflußt; dagegen sind die Minima im Thale, auf der Hochebene und an der Küste an heiteren Tagen viel niedriger als an trüben, während sie auf den Berggipfeln höher sind. Mit dieser Erscheinung steht die für den Winter charakteristische Temperaturinversion im engsten Zusammenhange. Im Sommer werden die Stationen, mit Ausnahme von Borkum, durch die Sonneneinstrahlung ziemlich gleichmäßig beeinflußt; dagegen zeigen die Minimumkurven auch hier wieder einen sehr verschiedenen Gang. Derselbe ist im Wesentlichen entgegengesetzt dem im Winter. Aus dem Vorstehenden folgt das interessante Ergebniß, daß die Unterschiede in dem Einflusse der Bewölkung auf die tägliche Temperaturschwankung hauptsächlich durch das verschiedene Verhalten der Stationen gegenüber der nächtlichen Ausstrahlung erklärt werden müssen.

F. H. Haase. **Die atmosphärische Elektrizität.** Betrachtungen über Entstehung und Entladungen derselben. Berlin. 1891.

J. van Bebber. **Die Zugstraßen der barometrischen Minima.** Meteor. Zeitschrift. 1891. S. 361.

J. van Bebber. **Die Bestimmung der Lufttemperatur.** Naturw. Rundschau. 1891. Nr. 44. S. 565.

J. Ziegler. **Niederschlagsbeobachtung in der Umgebung von Frankfurt a. M.,** nebst einer Regenkarte der Main- und Mittelrhein-Gegend. S.-A. a. d. Jahresber. d. phys. Ver. f. 1884—1885. Frankfurt a. M. 1886.

J. Ziegler. **Pflanzenphänologische Beobachtungen zu Frankfurt a. M.** S.-A. a. d. Ber. d. Senckenbergischen naturf. Ges. 1891. Frankfurt a. M. 1891.

I. Physik des Bodens.

Mittheilungen aus dem agrikulturphysikalischen Laboratorium und Versuchsfelde der technischen Hochschule in München.

LXV. Untersuchungen über das Adsorptionsvermögen und die Hygroskopizität der Bodenkonstituenten.

Von Dr. **Arnold Freiherrn von Dobeneck.**

Der Ausdruck «Adsorption», welcher in der Ueberschrift an die Stelle des in der Agrikulturphysik bisher gebräuchlichen «Absorption», zuweilen auch «Kondensation» getreten ist, bedarf wohl vor Allem einer kurzen Rechtfertigung. Auf den Vorschlag *E. du Bois-Reymond*'s bediente sich schon *Heinr. Kayser*[1]) in seinen Untersuchungen über die Verdichtung von Gasen an Glasoberflächen dieser Bezeichnungsweise mit dem Bemerken, daß dieselbe sehr passend die Verdichtung von Gasen an der Oberfläche fester Körper unterscheide von der Absorption der Gase in Flüssigkeiten, welch' letztere sich innerhalb der Zwischenräume der Körpermoleküle abspiele und jedenfalls auf anderen Gesetzmäßigkeiten beruhe. In der Bodenphysik hat man es nun nicht nur häufig mit der zuletzt erwähnten mit Absorption bezeichneten Erscheinung der Auflösung von Gasen in Flüssigkeiten zu thun, sondern es dient hier diese Bezeichnung auch noch einem dritten Vorgange, der Aufnahme und Umsetzung gewisser Nährsalzlösungen durch die hypothetischen Kolloidsubstanzen der Ackererde, beides Erscheinungen, welche mit der in Rede stehenden nicht identifizirt werden können. Aehnliches gilt für den namentlich in der älteren Litteratur vielfach gebrauchten Ausdruck «Kondensation».

[1]) Annalen der Physik. N. F. XIV. p. 450.

Auch hier befindet man sich in der mißlichen Lage, einer Bezeichnung verschiedene Begriffe unterlegen zu müssen, was der Klarheit desselben nothwendig Eintrag thun muß. Aus diesen Gründen wurde nach dem Vorgehen genannten Forschers auch in nachstehender Arbeit das Wort «Adsorption» stets gebraucht, wo es sich um die Verdichtung von Gasen durch feste Körper handelte, für die Adsorption des Wassergases aber das herkömmliche Wort «Hygroskopizität» beibehalten, was sich um so mehr rechtfertigt, als dieselbe einige leicht erklärliche Abweichungen von den für die Adsorption der Gase gültigen Gesetzmäßigkeiten zeigt.

Was nun die Erscheinung der Gasverdichtung an sich betrifft, so ist dieselbe, seitdem *Fontana* und *Scheele* im Jahre 1777 zum ersten Male auf sie aufmerksam wurden, schon vielfach Gegenstand eingehender Untersuchungen geworden, was wohl zum Mindesten als ein Argument für ein allgemeineres Interesse angesehen werden kann. Vergleicht man aber die gewonnenen Resultate mit der aufgewendeten Zeit und Mühe zu derselben, so kann man sich nicht verhehlen, daß die Erkenntniß dieser Erscheinung nicht die entsprechende Förderung erfahren hat, wie es hätte sein müssen, wenn dieselbe auf den einfachen Vorgängen beruhen würde, wie lange Zeit angenommen wurde. Schon die interessanten Versuche von *Magnus*[1]) (1853) sowie die später in ähnlicher Weise von *Chappuis*[2]) zur Gewinnung absoluter Zahlen angestellten Untersuchungen, welche aber in dieser Hinsicht resultatlos blieben, mehr noch die äußerst instruktive Kontroverse zwischen *Robert Bunsen* und *Heinr. Kayser*, welche sich in *Wiedemann*'s Annalen 1885 und 1886 abspielte, waren ganz dazu angethan, die Komplizirtheit dieser Erscheinung darzuthun, und die bis dahin allgemein gültige Ansicht über die Adsorption zum Mindesten völlig abzuändern.

Bekanntlich nahm man zur theoretischen Begründung der Adsorption an, daß die Grenzmoleküle fester Körper auf die sie umgebenden Gasmoleküle wie selbstständig gravitirende Körper eine anziehende Kraft äußern, welche in kleinen Abständen große Werthe erreicht, mit wachsender Entfernung aber sehr rasch abnimmt. Vermöge dieser Anziehung bleibt ein Theil der Gasmoleküle am adsorbirenden Körper haften, und es ent-

---

1) *Poggendorff*'s Annalen 89. p. 604.
2) *Wiedemann*'s Annalen 8. p. 1.

steht in unmittelbarster Nähe der Körperoberfläche eine Anhäufung von Gasmolekülen, deren Zahl von der mittleren Geschwindigkeit und Weglänge derselben abhängig ist. Alles, was auf die letzteren von Einfluß ist, also Temperatur und Druck, ändert im entgegengesetzten Sinne die Zahl der angehäuften Moleküle, mithin die Dicke der adsorbirten Schicht. Haben, so schloß man weiter, Temperatur und Druck einen konstanten Werth erreicht, so tritt ein stationärer Zustand ein, in welchem ebensoviele Moleküle von der Wandschicht des Körpers ausgesendet, als aufgenommen werden.

Lange Zeit hindurch behauptete diese Definition der Adsorptionserscheinung allseitige Herrschaft, bis es die gewaltige Autorität *Bunsen*'s unternahm, auf die Unvollkommenheit derselben aufmerksam zu machen, und neue Gesichtspunkte für die Beurtheilung derartiger Vorgänge aufzustellen, indem er die Adsorption in direkten Zusammenhang mit den bis dahin unbekannten feinsten Wasserschichten brachte. Doch wird die geschichtliche Entwickelung dieser Wesensfrage wohl am besten durch eine kurze Uebersicht über die hierüber bestehende rein physikalische Litteratur wiedergegeben werden können.

I. Allgemeine Litteraturübersicht.

Nachdem *Fontana* (1777) das Vorhandensein der Eigenschaft zahlreicher poröser Körper, Gase an ihrer Oberfläche festzuhalten, konstatirt hatte, ohne aber wesentliche Gesetzmäßigkeiten aus seinen Untersuchungen abzuleiten, und nachdem diese Beobachtung von *Morozzo, Rouppe* und *Norden*[1]) (1800) experimentelle Bestätigung erfahren hatte, war es zuerst *Saussure*[2]), welcher sich (1812—1814) eingehender mit diesem Gegenstand beschäftigte. Derselbe benützte zu seinen Untersuchungen ausgeglühte Substanzen, was, wie später hervorgehoben wird, von besonderer Bedeutung ist. Die abgeleiteten Schlußfolgerungen waren:

1) Den untersuchten porösen Körpern steht ein Verdichtungsvermögen zu.
2) Die Verdichtungsgröße variirt mit der Gestalt und Größe der Poren.

---

[1]) *O. Lehmann*, Molekularphysik. II. Theil. p. 83.
[2]) *Gilbert*'s Annalen 47. p. 113.

3) Verschiedene Substanzen besitzen auch ein verschiedenes Verdichtungsvermögen.

4) Derselbe Körper verdichtet von verschiedenen Gasen verschiedene Mengen.

5) Leichter kondensirbare Gase werden im Allgemeinen auch leichter verdichtet.

6) Bei höheren Temperaturen gelangt weniger zur Verdichtung.

7) Bei höheren Drucken mehr als bei niederen.

8) Mit dem Verdichtungsprozeß geht eine Wärmeentwickelung Hand in Hand.

R. A. Smith[1]) fügte auf Grund seiner Untersuchungen noch einige weitere Resultate hinzu, nämlich:

1) Kohle verdichtet aus einem Gemisch verschiedener Gase mit einer gewissen Auswahl. Dieselbe entnimmt der atmosphärischen Luft eine Zeit lang nur Sauerstoff.

2) Mit Stickstoff gesättigte Kohle in andere Gase gebracht giebt erst einen Theil des aufgenommenen Gases ab, bevor sie von Neuem verdichtet.

3) Mit Sauerstoff gesättigt giebt sie weder durch Erwärmung, noch durch Behandlung mit siedendem Wasser den einmal aufgenommenen Sauerstoff wieder ab, vielmehr erscheint derselbe unter solchen Umständen als Kohlensäure.

Joulin[2]), welcher wie alle vorhergenannten Forscher mit ausgeglühter Kohle operirte, gelangte unter Anderem auch zu nachstehenden Resultaten.

---

[1]) *Liebig*'s Annalen. Suppl. 2.

[2]) Comptes rendus XC. p. 741—744.

Es besteht noch eine große Anzahl von älteren Arbeiten hierüber, welche aber, als dieser Betrachtung zu fern liegend, hier nur namentlich aufgeführt sein sollen:

Jamin und *Bertraud* . . .	Comptes rendus XXXVI. p. 994.		
Stenhouse	*Johnson,* Wie die Feldfrüchte sich nähren. p. 177.		
Calvert	Journ. of the chem. soc. XX. 293.		
Faraday	Experimental researches. p. 558, 633.		
Chiozza	Kosmos I. 1852.		
Degen	*Poggendorff*'s Annalen	38.	p. 449.
Waidele	Ebendaselbst	59.	p. 255.
Magnus	Ebendaselbst	89.	p. 604.

1) Für Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff ist die Sättigung eine augenblickliche, wenigstens geschieht dieselbe zu rasch, um durch die zu Gebote stehenden Mittel gemessen zu werden.

2) Für Kohlensäure wächst die Zeit bis zur Sättigung bei gleichbleibender Temperatur mit dem Druck, und nimmt ab bei gleichbleibendem Druck mit steigender Temperatur.

3) Für Gasgemische ist die Zeit bis zur Sättigung eine längere als die für jedes einzelne Gas.

Im Jahre 1885 stellte nun *H. Kayser*[1]) mit größter Genauigkeit unter Berücksichtigung aller bisher bekannten Momente, welche die Adsorptionsgröße zu beeinflussen vermögen, also Temperatur, Druck und Oberfläche, Versuche über die Adsorption an Glasfäden an, um die Abhängigkeit derselben von Druck und Temperatur in absoluten Zahlen darstellen zu können. War einmal die adsorbirte Menge für ein leicht adsorbirbares Gas an einer bekannten Oberfläche bekannt, so konnte dann umgekehrt die Oberfläche eines äußerst feinen Glaspulvers aus der verdichteten Menge berechnet werden, und ein solches Pulver hätte dann zu Versuchen dienen können, in denen es sich um weniger leicht adsorbirbare Gase handelte. War die Eingangs gegebene Definition richtig, so mußte dieser logisch auf jene Definition aufgebaute Versuchsplan zu einem Resultate führen, genannter Forscher hätte also erfahren müssen, welche Gasmenge die Quadrateinheit Glasoberfläche unter einem bestimmten Druck und bei bestimmter Temperatur festzuhalten im Stande sei. Schon der Umstand aber, daß noch bis heute eine solche absolute Zahl nicht bekannt ist, läßt erkennen, daß der Endzweck auf dieser Basis nicht zu erzielen war. Genannter Forscher mußte diesen Versuchsplan aufgeben, da er sehr bald zur Einsicht gelangte, daß die Adsorptionsgröße nicht allein, neben Druck und Temperatur, von der Oberfläche des Materiales bestimmt werde, sondern daß noch ein Moment unberücksichtigt geblieben sein mußte, über dessen Natur er sich keine Rechenschaft zu geben wußte. Inwiefern diese Wahrnehmung auch durch die eigenen Versuche

---

Quinke . . . . *Poggendorff*'s Annalen 108. p. 326.
Smith . . . . *Knop*, Kreislauf des Stoffs. Bd. II. p. 12.
Chappuis . . . . *Wiedemann*'s Annalen 8. p. 1.
u. A. m.

[1]) *Wiedemann*'s Annalen XIV. p. 450.

bestätigt wird und welche Vermuthungen sich hieran knüpfen lassen, wird sich erst im experimentellen Teil dieser Arbeit ergeben [Versuchsreihe I]. Im Uebrigen ergaben die *Kayser*'schen Versuche:

1) Läßt man Glasfäden, welche längere Zeit bei hohen Temperaturen getrocknet waren, mit Kohlensäure in Berührung, so wird Kohlensäure verdichtet. Dieser Prozeß erreicht in wenigen Stunden sein Ende.

2) Druckerhöhung führt eine Vermehrung der Verdichtung herbei.

3) Mit Temperaturerhöhung nimmt die Verdichtung ab.

Kurze Zeit darauf trat *Bunsen*[1]) mit einer Abhandlung über die Adsorption von Gasen an Glasoberflächen hervor, welche zu gerade entgegengesetzten Resultaten führte. Diese waren:

1) Ein stationärer Zustand der Gasverdichtung wird keineswegs nach einigen Tagen oder Stunden erreicht, sondern nicht einmal nach Verlauf mehrerer Jahre. So hatte 1 qm Glasoberfläche adsorbirt:

Am Ende des ersten Jahres	3,15	ccm CO_2
» » » zweiten » weitere . . .	1,10	» »
» » » dritten » » . . .	0,88	» ».

2) Die instantane Druck- und Temperaturveränderung im Verlauf der drei Jahre veranlaßte niemals eine bemerkbare Loslösung verdichteter CO_2.

3) Plötzliche Quecksilberdruckänderungen innerhalb einer Atmosphäre ließen keine Veränderung im stetigen Verlauf der Verdichtung bemerken.

4) Innerhalb eines Temperaturintervalles von 0,8—23° C. erfolgte mit steigender Temperatur eine Beschleunigung, mit abnehmender eine Verzögerung der Gasverdichtung.

Ein Versuch von Seiten *Kayser*'s, die außerordentlichen Widersprüche in den beiderseitigen Resultaten auf eine Diffusion der CO_2 durch die gefetteten Glashähne an *Bunsen*'s Apparat zurückzuführen, wurde von Letzterem zurückgewiesen[2]). Ebenso zeigte es sich, daß es nicht die chemische Reaktion der CO_2 auf das alkalireiche Glas sein konnte, welche die Kohlensäureadsorption noch nach Jahren verursachte, und so konnten die Differenzen nur durch die Annahme erklärt werden, daß die ver-

---

[1]) *Wiedemann*'s Annalen XX. p. 545.

[2]) Annalen der Physik. N. F. XXII. p. 145.

schiedene Beschaffenheit der Glasfäden in beiden Fällen die Schuld an so auffallend widersprechenden Resultaten trug. Und in der That zeigte *Bunsen* in der genialen Veröffentlichung über Gasadsorption[1]) auf Grund eingehender Versuche, daß es die verschiedene Art der Trocknung war, welche den beiderseitigen Glasfäden derartig verschiedene Eigenschaften verlieh, daß sie sich bezüglich der Adsorption so grundverschieden verhalten konnten. Es sei bemerkt, daß *Bunsen* die Glasfäden bei mittlerer Temperatur mit Trockenstrom austrocknete, während *Kayser* dasselbe durch hohe Temperaturen erreichte.

Von der Ueberlegung ausgehend, daß kieselsaure Verbindungen selbst in der Hitze äußerst schwer zu trocknen sind, untersuchte *Bunsen* zunächst, wieviel Wasser das Glas bei verschiedenen Temperaturen in trockener Luft festzuhalten vermöge. Hierzu brachte er Glasfäden in einen völlig getrockneten Luftstrom und bestimmte mittelst der Gewichtszunahme von P_2O_5 die Wassermenge, welche der Luftstrom von den Fäden aufgenommen hatte. Nahm nun der Luftstrom bei einer bestimmten Temperatur kein Wasser mehr auf, so wurde der Versuch bei der nächst höheren Temperatur wiederholt. Das Resultat war, daß erst bei 503° keine weitere merkliche Wasserabgabe mehr stattfand.

Hieraus folgt also:

1) Um Glasfäden ganz vom Wasser zu befreien, müssen sie mindestens bei 500° längere Zeit erhitzt werden.
2) Bei niederen Temperaturen vermag Glas selbst in ganz trockener Luft Wasserschichten festzuhalten, deren Dicke betragen kann:

bei	23°	bis zu	10,55	Millionstel	mm
»	107°	» »	7,03	»	».

Da nun das Wasser bis zu diesen Dicken nicht verdampft, kann
3) gefolgert werden, daß sich dasselbe unter einem Drucke befindet, welcher der Tension des Wassers für diese Temperaturen entspricht. Diese Drucke aber steigern sich bei dünnen Schichten bis zu Hunderten von Atmosphären.

Daß also äußere Druckänderungen von Bruchtheilen einer Atmosphäre gegen diesen enormen Kapillardruck verschwinden, also ohne merklichen Einfluß auf die Adsorptionsgröße sind, ist leicht verständlich; ebenso

1) Annalen der Physik. XXIV. p. 321.

läßt es sich erklären, daß solche unter hohem kapillaren Druck befindliche Wasserschichten große Mengen von Gasen aufzulösen vermögen, und daß diese Auflösung sehr langsam von statten geht.

So wäre mit der Entdeckung dieser von *Warburg* später sogenannten «permanenten Wasserschichten» die Eingangs gegebene Definition dahin abzuändern, daß eine Gleichgewichtslage zwischen Gas und Körper nicht eintritt, sobald Druck und Temperatur konstant geworden sind, sondern daß nunmehr die aufstoßenden Gasmoleküle in der permanenten Flüssigkeitsschicht absorbirt werden und so die Beendigung des Verdichtungsvorganges weit über den Zeitpunkt des Eintrittes einer Konstanz in Druck und Temperatur hinausgeschoben wird. Die ursprüngliche Definition besitzt nur dann Gültigkeit, wenn ein absolut trockener Körper sich in einer homogenen Gasatmosphäre befindet. Hier ist das Vorhandensein einer Wasserhaut ausgeschlossen und die Bildung einer Flüssigkeitsschicht, welche absorbirend auf das Gas einwirkt, fällt ebenso hinweg, als ja eine solche nur aus dem umgebenden Gas gebildet sein kann. Und doch können wir auch dann noch von einer Unvollständigkeit der mehrerwähnten Definition sprechen, wie nachstehende Betrachtung ersehen läßt.

Die Beobachtung, daß mit dem Adsorptionsvorgange eine Wärmeentwickelung verbunden sei, wurde schon frühzeitig von *Th. de Saussure* gemacht. Vom Standpunkt der mechanischen Wärmetheorie bietet die Erklärung dieser Erscheinung keine Schwierigkeiten. Die durch die Verdichtung geminderte molekulare Bewegung setzt sich in Wärme um und verleiht so dem adsorbirenden Körper eine höhere Temperatur. Darnach müßten die frei werdenden Wärmemengen gleich sein den Kondensationswärmen, was aber durchaus nicht zutrifft. *Favre*[1]), welcher die Temperaturerhöhung bei Adsorptionsvorgängen gemessen, fand ein Verhältniß:

für SO_2	Adsorptionswärme	150,1	latente	Kondensationswärme	88,3
» N_2O	»	148,3	»	»	100,6
» CO_2	»	148,8	»	» + Erstarrungswärme	138,7.

Die Annahme, es erfolge eine Verdichtung der Gase zu Flüssigkeiten, reicht also zur Erklärung der thermischen Verhältnisse nicht aus, bei

---

[1]) *Lehmann*, Molekularphysik II. p. 85.

Kohlensäureverdichtung nicht einmal die Annahme, es gehe das Gas in den festen Zustand über. Jedenfalls entstammt das Mehr an Wärme irgendwelchen chemischen Vorgängen bei der Verdichtung.

Der thatsächliche Beweis nun, daß mit der Adsorption die mannigfachsten chemischen Verbindungen und Entbindungen Hand in Hand gehen, ist durch viele Untersuchungen erbracht, ich möchte nur auf die *Ammon*schen Versuche[1]) bezüglich der Adsorption von H_2S u. CH_4 verweisen, wobei eine chemische Zersetzung der angewandten Gasarten schon dem Auge deutlich erkennbar wurde.

Gay[2]) machte ferner wahrscheinlich, daß sich bei Adsorption des Stickoxydes durch Eisenoxydulsalze Verbindungen bilden, welche je nach Druck und Temperatur variable sind. So bildet sich

bei 8^0 u. 1 Atmosph. Druck eine Verbindung von der Formel $3FeSO_4 + 2NO$
» 25^0 » 1 » » » » » » » $4FeSO_4 + 2NO$
» wenig höherer Temp. » » » » » $5FeSO_4 + 2NO$.

Die neuerdings von *Ch. J. Baker*[3]) über die Natur der adsorbirten Gase angestellten Versuche sprechen ebenfalls für die chemische Natur vieler Adsorptionserscheinungen.

> Eine Temperatur von 450^0 ist nothwendig, um den trockenen Sauerstoff, der von der Kohle zurückgehalten wird, zu entfernen und zwar ist Kohlenoxyd das Hauptprodukt, Kohlensäure erscheint nur in geringen Mengen.

Weiter vermag nach *O. Lehmann*[4]) Sauerstoff in frisch geglühter Kohle schweflige Säure in Schwefelsäure, Schwefelwasserstoff in Schwefelsäure und Wasser, Phosphorwasserstoff in Phosphorsäure und Wasser, die Alkohole in entsprechende Säuren, verschiedene Kohlenwasserstoffe in Kohlensäure und Wasser überzuführen.

Hiermit kann also die Behauptung, daß das Gesammtresultat auch Gasmengen enthält, deren Anziehung durch chemische Differenz zwischen Gas und Körper veranlaßt war, welche allerdings erst unter Mitwirkung der erstgenannten Kräfte zu Stande kam, als hinlänglich erhärtet angesehen werden.

---

[1]) Forschungen a. d. Geb. der Agrikulturphysik. Bd. II. p. 1—46.
[2]) Comptes rendus 89. p. 410.
[3]) Journ. of the chem. soc. Vol. LI. p. 249.
[4]) *O. Lehmann*, Molekularphysik, II. Theil. p. 83.

Daß schließlich durch das Experiment noch Erscheinungen nachgewiesen werden können, welche auch durch alle angeführten Vorgänge nicht erklärt werden können, daß also zu den schon genannten 3 Einzelvorgängen mindestens noch ein weiterer hinzugefügt werden muß, wenn man es nicht vielleicht mit einem noch komplizirteren Zusammenwirken zu thun hat, das kann erst im Späteren ausführlicher behandelt werden. Hier möchte Verfasser nur der Vollständigkeit halber anführen, daß sich im Laufe der eigenen Versuche ein Vorgang bemerkbar machte, welcher nicht wie die ebengenannten proportional der Oberfläche, sondern proportional der Masse des Körpers zu- bezw. abnahm, und daß eine Reihe von Umständen die Vermuthung aufkommen ließen, man habe es neben den genannten Vorgängen auch noch mit einer Einwanderung von Gasmolekülen zwischen die Körpermoleküle, also mit einer der Diffusion nahestehenden Erscheinung zu thun.

Allem Gesagten zu Folge wäre endlich die mit Adsorption bezeichnete Erscheinung nicht mehr als die Wirkung einer einzigen Ursache der Oberflächenattraktion, sondern vielmehr als die Wirkung mehrerer getrennter Vorgänge aufzufassen, welche sich gegenseitig unterstützend ein Zurückhalten von Gasmolekülen an und in festen Körpern bewerkstelligen. Als solche Vorgänge sind bekannt:

1) Oberflächenanziehung.
2) Absorption in permanenten Flüssigkeitsschichten.
3) Chemische Reaktionen.
4) Der Diffusion verwandte Einwanderung von Gasmolekülen.

Der Hauptunterschied zwischen den einzelnen Vorgängen liegt in dem zeitlichen Moment. In allen jenen Fällen, in welchen ausgeglühte Substanzen den Untersuchungen dienten, die Bildung der permanenten Wasserschicht mithin ausgeschlossen war, einfache chemische Reaktionen aber schon durch Bestimmung des Versuchsmateriales hintangehalten waren, trat die Beendigung des Prozesses fast momentan ein. Die Oberflächenanziehung wirkt plötzlich. Allenfallsige Nachwirkungen, bedingt durch schwerfällige chemische Reaktionen oder durch Diffusion, wurden da, wo solche möglich waren, aus leicht erklärlichen Gründen übersehen. Stellt man nämlich die hier gemeinten chemischen Reaktionen bezüglich ihrer Intensität vorläufig mit dem Verwitterungschemismus in Parallele, so werden sich die auf solche Weise zurückgehaltenen Gasmengen inner-

halb der kurzen Versuchsdauer, welche derartigen Versuchen zugemessen war, jedenfalls völlig der Beobachtung entziehen. In gleicher Weise trat dann auch das nachträgliche Eindringen der Gasmoleküle in das Innere der festen Körper gegen die mächtige und plötzliche Oberflächenanziehung zurück, welch' letztere durch ihre momentane Beendigung gewissermaßen eine völlige Beendigung des Verdichtungsvorganges überhaupt simulirte.

Bezüglich der Dauer der Absorption in den permanenten Flüssigkeitsschichten lehrten die *Bunsen*'schen Untersuchungen, daß selbst nach Verlauf dreier Jahre ein Ende nicht erreicht werden konnte.

Wann chemische Reaktionen im obigen Sinne oder endlich die durch Moleküleinwanderung bedingte Aufnahme zum Abschluß kommen, darüber lassen sich höchstens Vermuthungen hegen. Angenommen es wirken die beiden erst genannten Vorgänge allein und gleichzeitig, so müßte eine hierfür aufgestellte Kurve, welche als Ordinate die aufgenommene Gasmenge als Abszisse die Zeit wiedergiebt, nahezu im rechten Winkel verlaufen. In der That aber zeigt eine solche für die eigenen Versuche wenigstens keinerlei streng geschiedene Intervalle, vielmehr verläuft dieselbe Anfangs steiler aufsteigend allmählich in eine der Abszisse nahezu parallele Linie. Gerade der Verlauf einer solchen Kurve könnte zu manchen theoretischen Betrachtungen über Qualität und Quantität der am Gesammtresultat betheiligten Einzelvorgänge Anlaß geben, aber Verfasser fühlt sich nicht dazu berufen, derartige Ausflüge in das Gebiet der molekularen Physik zu machen. Solange uns jedoch von dort nicht ein klares Bild von dem Vorgange der Gasverdichtung gegeben werden kann, solange wird auch der numerische Ausdruck einer in diesem Sinne noch geheimnißvollen Erscheinung beständig Vervollständigungen und Berichtigungen erfahren müssen, welche die Gewinnung endgültiger Zahlen wesentlich erschweren, eine genaue Diskussion derselben aber völlig unmöglich machen; denn je nachdem diese oder jene Ursachen oder auch das Zusammenwirken verschiedener Ursachen die Adsorption zu Stande bringen, je nachdem wird auch das Gesammtresultat unter wechselnden Bedingungen anderen Gesetzmäßigkeiten folgen. Es steht z. B. fest, daß chemische Vorgänge mannigfacher Art die Adsorption begleiten, ob aber die auf diese Weise adsorbirten Mengen dem Einfluß des Druckes und der Temperatur im selben Sinne unterliegen wie die durch Oberflächenwirkung adsorbirten Massen, ist zum Mindesten unwahrscheinlich.

Jenkins[1]) fand z. B., daß mit Zunahme der Temperatur die Adsorption des Ammoniakgases durch natürlichen und gebrannten Gyps vergrößert wird. Diese Resultate waren in einem Referate mit einem sehr berechtigten Fragezeichen versehen, da sie allen bisher gewonnenen Resultaten entgegen sind. Wäre es aber, ohne damit die gehegten Zweifel an der Richtigkeit der Resultate heben zu wollen, immerhin nicht möglich, daß man es hier mit einem Falle zu thun hat, in welchem eben die mit der Temperaturzunahme abnehmende Oberflächenwirkung gegenüber den mit steigender Temperatur zunehmenden Reaktionen derart zurücktritt, daß der Totaleffekt sich geradezu umkehrt?

Möge dieses Beispiel wenigstens der Ueberlegung Platz geben, ob man, noch bevor das Wesen der Adsorption richtig erkannt ist, an eine genaue Diskussion gewonnener Versuchsresultate, sowie an eine Verallgemeinerung so abgeleiteter Gesetzmäßigkeiten ohne Weiteres denken könne!

In Ermangelung dieser genauen Kenntniß aber scheint der vorstehende Versuch, die Adsorptionserscheinung auf ihre Ursachen zurückzuführen, wohl gerechtfertigt und Verfasser hat, weit entfernt davon, dasselbe erschöpfend gethan haben zu wollen, seinen Zweck schon erreicht, wenn nur einleitend die Ansicht gewonnen wird, daß die Adsorption in ihrem vollen Umfange nicht ein einfacher Vorgang, sondern eine Komplikation verschiedener Vorgänge ist.

II. Uebersicht der Speziallitteratur.

In Anbetracht des großen Umfanges der Litteratur über vorliegenden Gegenstand und bei der verschiedenen Behandlung, welche derselbe von Seiten der Experimentalphysiker einerseits und der Agrikulturphysiker andererseits erfahren hat, mußte eine Trennung vorgenommen werden in Arbeiten über Adsorption als eine Eigenschaft der Körper überhaupt und über Adsorption der Bodenarten in ihren Beziehungen zum Pflanzenleben. Die wichtigsten Arbeiten ersterer Art sind wohl im Vorigen genügend berührt, während die Litteratur der anderen Art, welche hier auch ein größeres Interesse zu beanspruchen hat, diesem besonderen Abschnitte vorbehalten wurde.

---

[1]) Forschungen a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik. Bd. II. p. 169.

Die ältere Litteratur bis zum Jahre 1879 ist von *G. Ammon*[1]) in seinen Untersuchungen über die in Rede stehende Eigenschaft der Bodenarten ausführlich behandelt worden und kann hier mit dem Hinweis dahin füglich übergangen werden.

Ammon versuchte in den angezogenen Untersuchungen das Verhalten der Hauptbodengemengtheile, nämlich Quarz, Thon, Kalk, Eisenoxydhydrat, Gyps und Humus, in möglichst reinem und vollständig trockenem Zustande gegen verschiedene in der Atmosphäre und der Bodenluft enthaltene Gase unter verschiedenen Bedingungen festzustellen, wobei ihm zunächst die Beantwortung der Fragen, inwieweit die Gasverdichtung von der mechanischen Zerkleinerung und der chemischen Beschaffenheit des Materiales, ferner von der Temperatur abhängig, inwieweit jene Erscheinung auf physikalische und chemische Prozesse zurückzuführen sei, und in welcher Weise die einzelnen Gase von den Bodenbestandtheilen verdichtet werden, von besonderer Wichtigkeit erschien.

Die Menge des verdichteten Gases wurde durch Wägung festgestellt. Konstante Temperaturen erreichte er durch Anwendung heißen und kalten Wassers oder Eis. Die Gase wurden, bevor sie in den Adsorptionsapparat traten, zunächst durch entsprechende Wasch- und Trockenvorrichtungen gereinigt und hierauf auf dieselbe Temperatur gebracht, als die Bodenarten besaßen.

Versuchsreihe I und II.[2])

Einfluß der Feinheit des Materiales.

100 gr Quarzsand adsorbiren bei 17° C.		Wassergas.	Ammoniak.
No. I	Staub — 0,20 mm Korndurchmesser	0,287 gr	0,191 gr
» II	0,20 — 0,30 » »	0,237 »	0,164 »
» III	0,30 — 0,74 » »	0,137 »	0,138 »
» IV	0,74 — 1,80 » »	0,062 »	0,109 »
» V	1,80 — 2,50 » »	0,028 »	0,083 »

Resultat: Das Verdichtungsvermögen des Bodens für Gase ist um so größer, je feiner die Bodentheilchen sind.

[1]) Forschungen a. d. Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. II. p. 1—46.

[2]) Die Nummern der Versuchsreihen sind die von *Ammon* gewählten.

Versuchsreihe IV.

Einfluß der Temperatur auf Ammoniakverdichtung.

100 gr der Substanz adsorbiren Ammoniak.

Temperatur.	Humus.	Eisenox.-hydr.	Gyps.	Kaolin.	Quarz.	$CaCO_3$
—10° C.	18,082 gr	7,266 gr	4,278 gr	0,379 gr	0,228 gr	0,405 gr
0 »	17,874 »	7,907 »	4,332 »	0,754 »	0,266 »	0,484 »
10 »	13,387 »	6,861 »	3,221 »	0,653 »	0,294 »	0,341 »
20 »	11,516 »	4,728 »	—	0,423 »	0,295 »	0,227 »
30 »	9,436 »	4,024 »	0,830 »	0,383 »	0,169 »	0,201 »
40 »	8,257 »	3,640 »	0,775 »	0,310 »	0,084 »	0,136 »

Resultat: Das Verdichtungsvermögen für Ammoniak nimmt mit zunehmender Temperatur ab.

Bis hieher können die Resultate, zu welchen *Ammon* geführt wurde, auch mit den eigenen Versuchen in Einklang gebracht werden, wenn auch für die einzelnen Konstituenten andere numerische Werthe erhalten wurden.

Versuchsreihe III.

Einfluß der Temperatur auf Wassergasverdichtung.

100 gr der Substanz adsorbiren Wassergas.

Temperatur.	Humus.	Eisenoxyd-hydr.	Kaolin.	Quarz.	$CaCO_3$
—10° C.	8,451 gr	2,889 gr	1,823 gr	0,633 gr	0,071 gr
0 »	9,092 »	10,151 »	1,884 »	0,650 »	1,407 »
10 »	22,529 »	20,621 »	2,029 »	0,343 »	1,521 »
20 »	15,962 »	19,767 »	0,470 »	0,077 »	0,296 »
30 »	9,505 »	10,578 »	0,392 »	0,027 »	0,069 »

Resultat: Für Wassergas scheint das Maximum der Verdichtung bei ca. 10° C zu liegen; bei tieferer und bei höherer Temperatur nimmt von da die verdichtete Menge kontinuirlich ab.

An der Richtigkeit der hier gewonnenen Zahlen lassen sich aber sowohl auf Grund der eigenen Versuche, als auch nach der Art und Weise ihrer Gewinnung gerechte Zweifel hegen.

Wie ich durch persönliche Mittheilung in Erfahrung gebracht, hatte *Ammon* die Glasflaschen, in welchen er die Luft mit Wassergas sättigte, nicht bei einer konstanten Temperatur erhalten, sondern dieselben frei unter dem Einfluß der schwankenden Zimmertemperatur belassen, und diese unter wechselnden Temperaturen gesättigte Luft erst dann auf die gewünschte Temperatur gebracht. Daß er daher nicht mit einer gleichmäßig gesättigten Luft operirte, ist bei der verschiedenen Sättigungskapazität der Luft doch einleuchtend. Nimmt man die mittlere Zimmertemperatur als zwischen 10° und 20° liegend an, so war die Luft auch zwischen diesen Temperaturen gesättigt. Jede nachträgliche Erhöhung der Temperatur mußte dann den relativen Feuchtigkeitsgehalt derselben herabdrücken. Rechnet man nun hinzu, daß der Grad der Sättigung der Luft wohl von entschiedenstem Einfluß auf die verdichtete Wassergasmenge ist, so erklärt sich hieraus ganz natürlich die Abnahme derselben von 10° aus nach aufwärts, welche aber nicht durch die verschiedene Temperatur, sondern durch eben diesen verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeitsgehalt verursacht war.

Andererseits ist der Umstand, daß *Ammon* zur Erzielung konstanter Temperaturen auf die primitive Anwendung heißen und kalten Wassers angewiesen war, von wesentlichem Einfluß auf die Genauigkeit der gewonnenen Resultate; denn selbst bei Anwendung aller Hülfsmittel für Erhaltung konstanter Temperaturen ist ein Schwanken um Bruchtheile von Graden unausbleiblich und auch diese minimalen Schwankungen genügen, um bei Operation mit gesättigter Atmosphäre Niederschläge hervorzurufen, welche bei der an sich geringen Gewichtszunahme um so größere Fehler zu erzeugen vermögen, je größer und je häufiger diese Schwankungen sind. Daß aber solche Schwankungen unter den erwähnten primitiven Umständen eingetreten, und daß dieselben bei 10° größer und häufiger waren als bei 0°, wobei das leicht zu handhabende schmelzende Eis zur Anwendung kam, ist wohl mit Bestimmtheit anzunehmen. Danach war auch die Niederschlagswassermenge, welche nicht hygroskopischer Natur, bei 10° größer als bei 0°, und es fände auf diese Weise die geringere Aufnahme von Wassergas bei 0° eine begründete Erklärung.

Versuchsreihe V—IX.

Verdichtungsvermögen für verschiedene Gase.

100 gr der Substanz adsorbiren bei 17° C.

	CO_2	CH_4	H_2S	O.	N.
Humus	1,366 gr	9,459 gr	29,241 gr	—	1,183 gr
Eisenoxydhydrat .	2,832 »	15,822 »	54,175 »	0,238 gr	7,534 »
Gyps	0,165 »	4,699 »	58,651 »	0,680 »	5,131 »
Kaolin	0,006 »	2,964 »	8,556 »	—	0,391 »
Quarz	0,002 »	0,870 »	0,922 »	—	0,011 »
Kohlens. Kalk . .	0,005 »	0,996 »	2,319 »	—	1,834 »

Resultate:

1) Von den untersuchten Bodengemengtheilen besitzt das Eisenoxydhydrat das höchste, Quarz das geringste Verdichtungsvermögen. Dem Eisenoxydhydrat am nächsten steht der Humus, dann folgen in absteigender Reihe Gyps, Kaolin und kohlensaurer Kalk.

2) Von den verschiedenen wasserfreien Bodenkonstituenten wird die Kohlensäure nur von dem Eisenoxydhydrat in erheblicher Menge aufgenommen, die Aufnahme derselben durch Quarz, Kaolin, Gyps und kohlensauren Kalk ist in trockenem Zustande derselben verschwindend klein.

3) Das Verdichtungsvermögen der Bodenkonstituenten für Sauerstoff ist fast gleich Null.

Weitere Angaben desselben Verfassers lassen sich in folgende Ergebnisse zusammenfassen.

Bei der Aufnahme des Ammoniakgases aus einer vollständig damit erfüllten Atmosphäre bilden sich in den Bodenkonstituenten geringe Mengen von Salpetersäure. Ebenso werden bei der Verdichtung von Stickstoff durch Eisenoxydhydrat geringe Mengen Salpetersäure gebildet.

Bei Verdichtung des Sumpfgases treten in den Bodenkonstituenten empyreumatische Substanzen auf.

Schwefelwasserstoff wird bei der Verdichtung zum größten Theil unter Abscheidung von Schwefel zersetzt; geschieht die Verdichtung desselben durch Eisenoxydhydrat, so bildet sich auch Schwefeleisen.

Schwarz[1]) stellte vergleichende Versuche über die Hygroskopizität verschiedener Bodenarten an, indem er nach dem *Schübler*'schen Verfahren 100 Gramm der bei 100° C. getrockneten Substanz in Zinkkästchen in eine kontinuirlich mit Wassergas gesättigte Atmosphäre von 17,5° C. brachte und dieselben von 24 zu 24 Stunden wog.

Es nahmen Wassergas auf: 100 Gramm bei 100° getrockneter

	Moor-	Sand-	Lehm-	Thonboden.
Nach 1 Tag	7,7 gr	0,4 gr	1,6 gr	3,2gr
» 3 Tagen	12,2 »	0,7 »	2,1 »	4,9 »
» 5 »	13,9 »	0,9 »	2,4 »	5,5 »
» 7 »	15,2 »	1,0 »	2,6 »	6,1 »
» 10 »	16,7 »	1,2 »	2,7 »	6,7 »
» 20 »	18,5 »	1,4 »	3,1 »	7,6 »
» 30 »	19,5 »	1,4 »	3,3 »	8,3 »
» 40 »	20,1 »	1,4 »	3,6 »	8,7 »
» 50 »	20,5 »	1,4 »	3,7 »	9,1 »
» 60 »	21,0 »	1,4 »	3,7 »	9,2 »
» 70 »	21,6 »	1,4 »	3,7 »	9,2 ».

Bei der geringen Leistungsfähigkeit der *Schübler*'schen Methode aber, über welche ich, durch spezielle Versuche belehrt, später nähere Angaben zu machen gedenke, können die vorstehenden Zahlen nicht als absolut richtig hingestellt werden, wenn sie auch die relativen Unterschiede im Verhalten der einzelnen Bodenarten wahrheitsgetreu wiederzugeben vermögen. Immerhin erhellt aus Obigem, daß einmal die Dauer bis zur völligen Sättigung trotz der günstigsten Feuchtigkeitsverhältnisse eine außerordentlich lange ist, und daß ferner sowohl die Dauer als besonders die Menge der festgehaltenen Feuchtigkeit sich zunächst nach der Menge des vorhandenen Humus, nächstdem des vorhandenen Kaolins richtet.

Schlösing[2]) versuchte den Einfluß der Temperatur auf die Hygroskopizität der Ackererde nach einer von *Regnault* eingeführten Methode festzustellen. Nach derselben wurde die Tension des Wasserdampfes in einem bestimmten Luftvolum, welches vorher mit der untersuchten Bodenart in innige Berührung getreten war, bestimmt und so ließ sich aus der

[1]) Forschungen a. d. Gebiet der Agrikulturphysik. Bd. II. p. 167.
[2]) Ebendaselbst. Bd. VII. p. 322.

gefundenen Tension und aus der für die betreffende Temperatur bekannten maximalen Tension unmittelbar auf das hygroskopische Verhalten der Böden bei verschiedenen Temperaturen schließen.

Wäre f die Spannkraft des Dampfes in der Erde, F die maximale Spannkraft für die untersuchte Temperatur, so müßte f : F, falls die Temperatur ohne Einfluß auf die Hygroskopizität sein sollte, bei gleichem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens und der zuströmenden Luft auch bei wechselnden Temperaturen gleich sein. Die angestellten Untersuchungen ergaben unter anderen folgende Zahlen.

100 gr Erde enthielten	Temperatur.	f : F.	100 gr Erde enthielten	Temperatur.	f : F.
0,82 gr Wasser	9,14° C.	0,180	2,83 gr Wasser	9,05° C.	0,830
» » »	19,25 »	0,188	» » »	19,15 »	0,846
» » »	29,18 »	0,209	» » »	29,18 »	0,851
1,53 » »	16,69 »	0,409	4,64 » »	14,25 »	0,954
» » »	26,53 »	0,435	» » »	24,25 »	0,962
» » »	34,30 »	0,464	» » »	34,15 »	0,970
2,14 » »	9,25 »	0,656			
» » »	19,15 »	0,663			
» » »	29,23 »	0,681			

Hierzu bemerkte *Schlösing* etwa Folgendes: Da das gefundene Verhältniß f : F bei den verschiedenen Temperaturen nur nahezu dasselbe bleibt, so wird auch die bei verschiedenen Temperaturen, aber bei gleichem Feuchtigkeitsgehalte der Luft und des Bodens zurückgehaltene Wassermenge nahezu dieselbe bleiben. Mit anderen Worten zwischen 9° und 35° C. ist die Temperatur bei gleichem relativen Feuchtigkeitsgehalt der Luft nahezu ohne Einfluß auf die Hygroskopizität.

Kurze Zeit darauf erschien über die Hygroskopizität der Ackererde eine Veröffentlichung von *E. W. Hilgard*[1]), welche neben praktischen Erörterungen auch folgende theoretische Angaben enthielt, die aber mit den *Schlösing*'schen nicht in Einklang zu bringen sind.

1) In mit Wassergas völlig gesättigtem Raume steigt bis zu 35° C. die Hygroskopizität mit der Temperatur stetig. Die Inkremente scheinen einem arithmetischen Gesetz zu folgen, so daß z. B. ein feiner Sandboden, der bei 15° C. 2% Feuchtigkeit adsorbirte, bei

[1]) *Wollny*'s Forschungen a. d. Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VIII. p. 93.

35° C. die doppelte Menge enthielt, während eine bei 15° C. 7% adsorbierende Erde nahezu 9% zeigte, also in beiden Fällen eine Zunahme von 2% für denselben Temperaturintervall. Bei einer sehr thonigen Bodenart indessen müßte das Gesetz der Zunahme durch eine Kurve anstatt einer geraden Linie ausgedrückt werden.

2) Bei nur theilweise gesättigter Atmosphäre nimmt die Adsorption durchweg mit zunehmender Temperatur ab.

3) Etwas unter 15° C. scheint sich die Feuchtigkeit gleichmäßig zwischen Luft und Boden zu vertheilen, d. h. wenn man den bei 15° C. in gesättigter Atmosphäre gefundenen Prozentgehalt als Einheit annimmt, so enthält bei $^3/_4$ gesättigter Atmosphäre der Boden auch nur $^3/_4$ jenes gefundenen Gehaltes und bei $^1/_2$ der Sättigung auch nahezu $^1/_2$ desselben.

Auf die Widersprüche, welche die *Ammon*'schen, *Schlösing*'schen und *Hilgard*'schen Beobachtungen zeigen, bedarf es wohl keines besonderen Hinweises.

Die Frage, ob der durch die Hygroskopizität zu erlangende Gewinn an Bodenfeuchtigkeit so bedeutend werden kann, daß er einen merklichen Einfluß auf die Pflanzenvegetation auszuüben vermag, rief auch eine Reihe von interessanten Arbeiten hervor. So stellte z. B. *Hellriegel*[1]) nachstehende Versuche über die Hygroskopizität feiner durch 1 mm Sieb gewonnener Gartenerde an. Die Methode war die von *Schübler* angegebene und zur Zeit überhaupt gebräuchlichste.

100 gr. Boden nahmen auf	nach Stunden,	in lockerem,	in festem Zustand.
	$^1/_{12}$	0,02	0,02
	$^1/_3$	0,05	0,05
	$1^1/_3$	0,12	0,10
	$5^1/_3$	0,35	0,28
	$30^1/_3$	1,30	1,04
	60	1,95	1,59
	103	2,59	2,16
	153	2,95	2,48
	200	3,20	2,73
	242	3,42	2,93

[1]) *Wollny*'s Forschungen a. d. Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. VI. p. 389 ff.

100 gr Boden nahmen auf nach Stunden,	in lockerem,	in festem Zustand.
312	3,73	3,24
408	4,10	3,60
696	4,97	4,46
804	5,15	4,64
896	5,30	4,79.

Die Beobachtungen zeigen also, daß die Aufnahme des Wassergases durch vollkommen trockenen Boden in einer gesättigten Atmosphäre anfangs eine sehr energische, daß die Energie aber bald geringer wird und zu einem Minimum herabsinkt, und daß ferner der Ausgleich sehr lange Zeit in Anspruch nimmt.

Versuche, in welchem der hygroskopisch gesättigte Boden abwechselnd in trockene und feuchte Atmosphäre gebracht wurde, zeigten, daß in der gleichen Zeit stets der Verlust des Wassers größer war als der Gewinn bis zu einer Gleichgewichtslage, welche ungefähr dem entspricht, was die Böden bei dem ersten Versuch nach 150 Stunden aufgenommen hatten.

Aus ähnlichem Anlaß unterzog *Sikorski*[1]) verschiedene Bodenarten einer Reihe von Versuchen über Hygroskopizität. Derselbe beschränkte sich darauf, festzustellen, ob eine lufttrockene Bodenart unter wechselnden Bedingungen Wassergas aufgenommen oder abgegeben hatte, ohne das Ende dieses Ausgleiches abzuwarten.

Bezüglich des Einflusses der relativen Luftfeuchtigkeit ergab sich, daß die Böden bei einem Feuchtigkeitsgehalt der Luft von 60 % und 40 % abgaben, bei einem solchen von 80 % und 100 % aufnahmen, entsprechend der Verminderung resp. Vermehrung der in der Luft enthaltenen Wassermengen. Vom Standpunkt des hygroskopischen Gleichgewichts bietet die Erklärung dieser Erscheinung keine Schwierigkeiten. Die Böden waren lufttrocken bei einem Feuchtigkeitsgehalt der Luft von ca. 70 % und mußten daher bei einem niedrigeren Gehalt der Luft an Wasserdampf Einbuße, bei höherem einen Gewinn an Feuchtigkeit erfahren.

Versuche über den Einfluß des Druckes nöthigten endlich *Sikorski* zum Schlusse, daß innerhalb 688—718 mm die Gasverdichtung vom Luftdrucke nicht beeinflußt wird.

---

1) *Wollny*'s Forschungen a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik. IX. p. 413.

Die *Saussure*'sche Beobachtung, daß bei Gasadsorption eine Wärmeentwickelung auftritt, wurde näher von *Babo*[1]), *Magnus*[2]), *Favre*[3]) u. A. untersucht. *Palmieri*[4]) machte neuerdings auch die Entwickelung von Elektrizität bei diesem Vorgange wahrscheinlich. Die Temperaturerhöhung der Bodenarten bei Adsorption von Gasen aller Art untersuchte neuerdings *Stellwaag*[5]), und da derselbe zu seinen Versuchen neben natürlichen Bodenarten auch reine Bodenkonstituenten benützte, die beobachtete Temperaturerhöhung aber auch als Maß für die Intensität der Verdichtung angesehen werden kann, so seien nachstehend einige dieser Versuche angeführt.

Temperaturerhöhung bei Adsorption des Wassergases bei 30⁰ durch völlig trockene Substanz.

Quarzsand . .	0,88° C.
Quarzpulver . .	1,08° »
$CaCO_3$ . . .	1,47° »
Kaolin . . .	2,63° »
Eisenoxydhydrat	9,30° »
Humus . . .	12,25° »

Der relative Unterschied im Verdichtungsvermögen der einzelnen Konstituenten für Wassergas kommt durch die Temperaturerhöhung sehr deutlich zum Ausdruck. Die Zahlen stehen in vollkommener Uebereinstimmung mit der von *Ammon* angegebenen Reihenfolge.

Bezüglich des Wärmegewinnes bei wechselnden Temperaturen wurden folgende Versuchsresultate gewonnen:

		10° C.		20° C.		30° C.	
		Adsorbirt in % des Gewichtes.	Temperatur-erhöhung.	Adsorbirt in % des Subst. Gew.	Temperatur-erhöhung.	Adsorbirt in % des Subst. Gew.	Temperatur-erhöhung.
Isarkalksand . . .	wasserfrei	0,15	0,62 C.	0,16	1,75°C.	0,19	2,32°C.
dgl.	lufttrocken	0,08	0,37 »	0,11	1,12 »	0,13	1,01 »
Humoser Kalksand	wasserfrei	0,89	3,15 »	1,25	5,05 »	1,50	7,17 »
dgl.	lufttrocken	0,11	1,00 »	0,13	1,71 »	0,60	2,10 »
Lehm, pulverförmig	wasserfrei	0,63	2,25 »	0,97	4,90 »	1,01	7,90 »
dgl.	lufttrocken	0,27	0,82 »	0,31	1,22 »	0,37	2,37 »
Torf	wasserfrei	2,37	5,25 »	2,55	8,25 »	2,81	12,25 »
dgl.	lufttrocken	0,18	0,68 »	0,50	1,95 »	0,90	3,50 »

[1]) *Mulder*, Chemie der Ackerkrume. III. p. 366.
[2]) *Poggendorff*'s Annalen. 121. p. 174.
[3]) *Lehmann*, Molekularphysik. II. p. 85.
[4]) *Wollny*'s Forschungen. IX. 443.
[5]) Ebendaselbst. V. 210.

Es wäre nun fehlerhaft, aus den letzteren Zahlen ohne Weiteres schließen zu wollen, daß die hygroskopische Wasseraufnahme mit der Temperatur überhaupt zunehme, da ja *Stellwaag* sowohl, wie oben *Sikorski*, nicht das Ende des Prozesses abgewartet hat, sondern sich mit der innerhalb eines gewissen kurzen Zeitraumes erfolgten Aufnahme begnügte. Vielmehr lautet der aus diesen Zahlen zu ziehende Schluß: In gleichen Zeiten werden bei niederen Temperaturen geringere Mengen als bei höheren Temperaturen hygroskopisch gebunden. (Vgl. damit Versuchsreihe VI der eigenen Versuche.)

Die Temperaturerhöhung der Bodenkonstituenten bei Verdichtung von Ammoniak und Kohlensäure ist durch folgende Zahlen ausgedrückt.

Temperatur 12° C.

	$Fe_2(OH)_6$	Torf.	Kaolin.	$CaCO_3$	Quarz.
Boden trocken, trockene CO_2	6,45° C.	1,25° C.	0,02° C.	0,00° C.	0,02° C.
» » feuchte CO_2	7,25 »	11,80 »	0,60 »	0,42 »	0,32 »
» » trockenes NH_3	18,05 »	28,30 »	2,05 »	0,80 »	0,80 »
» » feuchtes NH_3	14,10 »	23,80 »	1,55 »	0,40 »	0,50 »

Für das verschiedene Verhalten der einzelnen Konstituenten gegen die beiden Gase sprechen die Zahlen genügend, als daß sie begleitender Worte bedürften, nicht so kann die Wirkung trockenen und feuchten Gases ohne Weiteres übergangen werden. Die Ab- beziehungsweise Zunahme der Temperaturerhöhung bei Anwendung feuchten Gases gegenüber trockenem schreibt *Stellwaag* dem Umstande zu, daß bei gleichzeitiger Zufuhr von Wasserdampf und Gas für die Temperaturerhöhung das erstere entscheidend ist. Ist die Adsorption des trockenen Gases, wie bei CO_2, geringer als die Wassergasaufnahme, so wird die Temperaturerhöhung bei Anwendung feuchten Gases größer sein, ist dieselbe aber, wie bei NH_3 größer, so wird auch die Temperaturerhöhung dadurch herabgedrückt werden, daß die Ammoniakadsorption auf Kosten der hygroskopischen Wasseraufnahme größtentheils verdrängt wird.

Ueber das Verdichtungsvermögen der Bodenarten für Ammoniak und Kohlensäure sind seit *Ammon* nur wenige Versuche bekannt geworden.

Zunächst untersucht *Jenkins*[1]) den Einfluß der Temperatur auf die Adsorption von Ammoniak durch schwefelsauren Kalk. Daß diese Untersuchung einzig in ihrer Art zu dem Ergebnis führten, daß mit Zunahme der Temperatur die Adsorption vergrößert werde, mußte schon in der Einleitung besprochen werden. Weitere Versuche desselben Verfassers ergaben auch, daß mit zunehmendem Wassergehalt des schwefelsauren Kalkes die Ammoniakverdichtung herabgedrückt (?) würde.

Zu gerade entgegengesetzten Ergebnissen gelangte *Wipprecht*[2]). Er fand:

1) Feuchter Thon enthält mehr Ammoniak als trockener.
2) Bei gleichmäßigem Feuchtigkeitsgehalt nimmt der Thon um so mehr Ammoniak auf, je länger er der Luft zugänglich bleibt.
3) Wird trockener Thon angefeuchtet, so adsorbirt er beträchtliche Mengen von Ammoniak.
4) Wird nasser Thon trockener Luft ausgesetzt, so verliert er mit dem Wasser einen großen Theil seines Ammoniakgehaltes, dagegen nimmt Thon, wenn er aus der Luft Wasser adsorbirt, mit letzterem zuerst mehr Ammoniak auf, als er durch Verdunstung einer gleichen Wassermenge verliert.

Endlich ist noch einer neueren Arbeit von *Th. Schlösing*[3]) an dieser Stelle Erwähnung zu thun. Derselbe beobachtete unter mehr natürlichen Verhältnissen den Austausch von Ammoniak der Atmosphäre und dem Erdboden, und faßte die dabei gewonnenen Resultate wie folgt zusammen.

Der nackte, kalkhaltige, saure oder neutrale, trockene oder feuchte Erdboden adsorbirt Ammoniak aus der Atmosphäre und zwar in Mengen, welche für ihn nicht ohne Bedeutung sind. Da die Ammoniakadsorption von der Verschiedenheit der Tension desselben in der Luft und im Erdboden abhängt, so ist die Ammoniakaufnahme im Boden am größten, wenn die Tension desselben im Boden gleich Null ist; dieses ist der Fall im feuchten Boden, wenn das Ammoniak durch Nitrifikation in dem Maße verschwindet, als es adsorbirt wird. Im trockenen Erdboden hört die Nitrifikation auf, in Folge dessen bleibt der größte Theil des adsorbirten Ammoniaks unverändert, es tritt eine fortwährende Steigerung der Am-

1) *Wollny*'s Forschungen. Bd. II. p. 169.
2) *Biedermann*'s Centralblatt für Agrikulturchemie. 1887. p. 517.
3) Comptes rendus. 1890. CX. Nr. 9. p. 429.

moniaktension ein, die Aufnahme nimmt stetig ab. Demnach wird die Fixirung des Ammoniaks durch die Feuchtigkeit des Erdbodens begünstigt, durch Trockenheit vermindert.

Zum Schluß seien noch einige Worte über den praktischen Werth der beiden besprochenen Eigenschaften gestattet, wenn auch Verfasser im weiteren Verlaufe der Arbeit dieser Frage mit keinem Schritte nahe kommen möchte.

Davy, welcher zuerst der Hygroskopizität des Bodens eine größere Bedeutung zuschreibt, sagt: «Das Vermögen des Erdreichs, Wasser aus der Luft zu verdichten, hängt innig mit der Fruchtbarkeit zusammen. Ist dieses Vermögen groß, so werden die Pflanzen in trockenen Jahreszeiten mit Wasser versorgt.»

Der gleichen Anschauung neigte sich *Humboldt*[1]) und neben vielen andern Forschern auch später *Liebig*[2]) zu. Letzterer: «Wo im heißen Sommer die Oberfläche des Bodens austrocknet, ohne daß ein Ersatz aus tieferen Schichten durch kapillare Anziehung statt hat, dort liefert die mächtige Anziehung des Bodens zu dem gasförmigen Wasser der Luft die Mittel zur Erhaltung der Vegetation.»

Diese etwas teleologisch befundene Ansicht wurde in neuester Zeit viel umstritten. *Sachs*[3]) sprach zuerst die Vermuthung aus, daß die Planzenwurzeln wohl nicht im Stande seien, sich derartig gewaltig zurückgehaltenen Wassers zu bemächtigen, während andererseits *Hilgard*[4]) gestützt auf eigene sowie auf ältere von *Henrici* angestellte Untersuchungen, die Bedeutung der Hygroskopizität zum Mindesten für die Pflanzen der regenlosen Zone aufrecht zu erhalten suchte. Die Frage kann als erledigt angesehen werden, nachdem *R. Heinrich*[5]) und *A. Mayer* in eklatantester Weise zeigten, daß die Hygroskopizität der Ackererde erst zur Wirkung gelange, wenn der Boden schon weit unter jene Grenze ausgetrocknet ist, bei welcher die Pflanzen noch lebensfähig sind. Führen wir auch die Worte eines neueren Schriftstellers hierüber an. *A. Mayer*[6]): «Die

---

1) *Gilbert's* Annalen. I. p. 512.
2) *F. Haberlandt,* Allgem. landw. Pflanzenbau. p. 429.
3) *J. Sachs,* Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen. p. 174.
4) Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik. Bd. VIII. p. 93.
5) *Biedermann's* Zentralblatt für Agrikulturchemie. Bd. XII. 1877. p. 16.
6) *A. Mayer,* Agrikulturchemie. II. p. 133.

potentiell bestehende Hygroskopizität trockener Ackererden kommt unter den realen Verhältnissen zum Wohle der Pflanzen nicht in Betracht, weil diese im Verlaufe einer Periode großer Trockenheit schon viel zu weit heruntergekommen sind, um davon Nutzen zu ziehen, noch ehe die Erde auf dem Verdichtungspunkt angekommen ist. Es steht damit wie mit einer wohlthätigen Sammlung zur Zeit einer Hungersnot, nachdem dieselbe schon ihre Opfer gefordert hat. Was helfen die in Wahrheit bestehenden wohlthätigen Bestrebungen, wenn sie naturgesetzlich sich erst post festum regen?»

Jedenfalls aber ist es ebenso fehlerhaft, hiermit die Hygroskopizität endgültig aus der Reihe der nützlichen Bodeneigenschaften zu streichen[1]), wie es fehlerhaft wäre, dies für das Verdichtungsvermögen im weiteren Sinne thun zu wollen; denn was für die Hygroskopizität gilt, gilt damit nicht auch für die Gasadsorption, und wenn die erstere den Pflanzen auch nicht direkt einen Gewinn an Bodenfeuchtigkeit zu verschaffen vermag, so kann sie doch indirekt durch Theilnahme an Verwitterung und Verwesung einen wichtigen Dienst zum Wohle der Pflanzen übernehmen. Andere Fragen sind es dann, inwieweit sich die Gasadsorption an der Zusammensetzung der Bodenluft betheiligt, inwieweit sie pflanzenschädliche Gase unwirksam zu machen vermag, oder wie sie sonst durch ihre gewaltigen kapillaren Kräfte chemische Veränderungen der festgehaltenen Gase zu Gunsten oder Ungunsten der Pflanze bewirkt. Wie einleuchtend, wenn auch ohne experimentelle Bestätigung, scheint es, wenn Cte *de Gasparin*[2]) sagt, der Humus adsorbire den Sauerstoff und produzire damit beständig Kohlensäure zur Ernährung der Pflanzen, die anderen Konstituenten adsorbiren gleichfalls und liefern so dem Humus kontinuirlich eine sauerstoffreiche Luft, welche der Verwesung wie der Keimung zu Gute kommt. Anknüpfend an diese Betrachtungen über die Vorgänge, mit welchen die Adsorption als nützliche Bodeneigenschaft aufzutreten vermag, soll schließlich ein Moment besonders hervorgehoben werden, welches auch den Anlaß zur Entstehung der nachstehenden Untersuchungen gegeben hat, und welches in hohem Maße dazu geeignet ist, unser Interesse in Anspruch zu nehmen. Es ist dies die Verwitterung. *Adolf Mayer*[3]) führt eine Reihe von Vorgängen an, welche für Ursachen der Verwitterung angesprochen wurden,

1) *A. Mayer*, Agrikulturchemie. II. p. 132.
2) *Gasparin*, Cours d'agriculture. p. 159.
3) *A. Mayer*, Agrikulturchemie. II. p. 21.

und unterscheidet als solche zwischen rein physikalischen und chemischen. Ersteren, als stetige Temperaturveränderung, Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren und Wucht des fallenden Tropfens, mißt derselbe nach genügender Begründung keine große Bedeutung bei, wohl aber chemischen Vorgängen, deren Natur bei der ungenügenden experimentellen Bearbeitung des Gegenstandes noch dunkel sei. Nun konnte und kann ich mich noch heute des Gedankens nicht erwehren, daß zum großen Theil auch jene mächtigen kapillaren Kräfte, welche man unter dem Begriffe der Adsorption zusammenfaßt, den Verwitterungsvorgang zum Mindesten einleiten, wenn nicht dauernd unterhalten, und daß also der Verwitterungschemismus zunächst durch ein physikalisches Phänomen bedingt sei. Für den ersten Augenblick scheint wohl diese Ansicht einen gewissen Widerspruch in sich zu beherbergen, da ja auch Bodenarten, welche schon völlig in Verwitterung übergegangen ein Adsorptionsvermögen erkennen lassen. Bedenkt man aber, daß ein derartiges Vermögen erst dann im Experiment zu beobachten ist, wenn vorher eine Veränderung des Bodens durch Austrocknung oder Erhitzung desselben bewerkstelligt wurde, und wenn also dadurch die Verwitterung bis zu einem gewissen Grade wieder aufgehoben wurde, so ist dieses Bedenken gegen die ausgesprochene Meinung wohl beseitigt. Aehnliches beobachtet man ja täglich, wenn der völlig verwitterte Thon durch starke Erhitzung in Gestalt eines Ziegels wieder zur kompakten unverwitterten Masse wird, und in diesem veränderten Zustand von Neuem der Verwitterung anheimfällt. An eine experimentelle Bestätigung der letztausgesprochenen Ansicht konnte leider wegen des an sich schon außerordentlichen Umfanges der Untersuchungen nicht mehr gedacht werden, vielmehr suchte sich Verfasser zuerst nur mit dem Wesen und Wirken der Adsorptionserscheinungen im Allgemeinen vertraut zu machen, da er die Lösung dieser primären Frage als ein unabweisbares Postulat für allenfallsige spätere Untersuchungen über den Zusammenhang der Adsorption mit der Verwitterung ansehen mußte. Daß aber die Lösung dieser Frage noch nicht bis zu Ende gediehen, das glaube ich auf Grund der gegebenen Zusammenstellung behaupten zu dürfen. Ich möchte nur daran erinnern, wie *Ammon* z. B. eine Zunahme der Hygroskopizität von 0—10° C., von hier aus aber eine Abnahme derselben mit steigender Temperatur konstatiert; *Hilgard* dagegen findet eine Zunahme mit steigender Temperatur, und *Schlösing* endlich entnimmt

seinen Versuchen, daß die Hygroskopizitätsgröße unabhängig von der Temperatur sei. Derartige Widersprüche ließen sich wohl noch mehr beibringen.

Alles dies veranlaßte nun Verfasser, die Hygroskopizität und Gasadsorption von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus, zunächst unbekümmert um etwaige Konsequenzen, in einer Reihe von Untersuchungen näher zu studiren, wobei es ihm vor Allem um das Studium des Wesens dieser Erscheinung, sowie um deren Abhängigkeit von Material, Oberfläche, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Bodenfeuchtigkeit, sowie um die Funktion der Zeit hierbei zu thun war. Leider konnten sich derartige Versuche angesichts der komplizirten Beschaffenheit des Bodens, sowie der Komplikation der Erscheinung überhaupt nicht weit über die empirische Feststellung der Gesammtwirkung unter wechselnden Verhältnissen heben. Der Versuch, dieselben auch theoretisch auszubeuten, stößt auf unüberwindliche Hindernisse, welche vielleicht manche schwache Schlußfolgerung nach dieser Richtung verzeiblich erscheinen lassen.

Der experimentelle Theil der Arbeit wurde im Herbste des Jahres 1890 begonnen und nahm ein volles Jahr hindurch die gesammte Thätigkeit des Verfassers in Anspruch; und wenn derselbe nun zur Wiedergabe derselben schreitet, so möchte er dies nicht thun, ohne seinem sehr verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. *E. Wollny*, auf dessen Anregung er nicht nur diese Arbeit begann, sondern welcher es ihm auch ermöglichte, dieselbe in seinem agrikulturphysikalischen Institute auszuführen, und welcher den Versuchen stets das regste Interesse zu Theil werden ließ, seinen tiefstgefühlten Dank an dieser Stelle auszusprechen.

III. Eigene Versuche.

a. Versuchsanordnung.

Die von *Schübler* in Vorschlag gebrachte und zur Zeit wohl gebräuchlichste Untersuchungsmethode erwies sich bei einer Prüfung mit Mängeln behaftet, welche ihre Verwendung für vorliegende Versuche unmöglich machte. Ebenso konnte eine von *Regnault* zuerst eingeführte und von *Schlösing*[1]) auch für agrikulturphysikalische Untersuchungen angewandte

[1]) Comptes rendus. XCIX. p. 215.

Bestimmungsmethode den folgenden Versuchen nicht dienen, weil sie von Voraussetzungen ausgeht, welche in diesem Falle nicht gegeben waren. Angesichts der Thatsache, daß die adsorbirten Gase während und durch die Adsorption chemische Veränderungen erleiden, mithin in anderer Form und Menge abgegeben werden, als sie aufgenommen wurden, verbot sich auch eine Methode, wie sie *Reichardt* mit seinen Schülern *(Blumtritt, Döbrich, Scheermesser)*[1]) benützte. Als die zum speziellen Studium der genannten Eigenschaften geeignetste Methode wurde schließlich die von *G. Ammon*[2]) gewählte auch für nachstehende Versuche im Wesentlichen beibehalten; einige Abänderungen, namentlich in der Anordnung bei Untersuchungen über Hygroskopizität, konnten leicht gemacht werden, und die übrigen ergeben sich aus einem Vergleich derselben mit Nachstehendem von selbst.

Die zu untersuchende Substanz wurde längere Zeit bis zur Gewichtskonstanz in Trockengläschen bei 100—105° C. vorgetrocknet und hierauf in ein Adsorptionsröhrchen gefüllt. Dieses letztere bestand in einer U-förmig gebogenen liegenden weiten Glasröhre, deren beide an den Enden zugeschmolzene Schenkel beiderseits nach oben strebende mit kleinen Glashähnen versehene, oben knieförmig abgebogene enge Glasröhren trugen. In der Mitte der Biegung der U-Röhre war zum Einfüllen der Substanz ein Tubus aufgeschmolzen, welcher durch einen eingeriebenen Glasstöpsel völlig luftdicht verschlossen werden konnte. Waren die kleinen Glashähne ebenfalls geschlossen, so war der Inhalt der Gefäße also vollständig von der äußeren Atmosphäre getrennt. Mehrere solcher mit verschiedenen Substanzen gefüllter Gläschen wurden, nachdem sie noch einige Stunden im Trockenschrank verweilt hatten, dortselbst geschlossen und dann nach der Abkühlung unter dem Exsikkator zur Wägung gebracht. Die gewogenen Gläschen kamen dann in einen aus Weißblech verfertigten Kasten, welcher durch ein ihn umgebendes Wasserbad auf gewünschter Temperatur erhalten werden konnte. Zu letzterem Zwecke wurde ein Thermostat verwendet. Nach oben war der Kasten durch einen im Charnier beweglichen mit Sägespähnen ausgefüllten Blechdeckel geschlossen. Längs der Innenwände des Blechkastens lief ein aus dünnwandigen Glasröhren

[1]) *Wollny's* Forschungen a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik. II. p. 4—10.
[2]) Ebendaselbst. II. p. 1.

gebildetes Rohr, in welches noch ein größeres Reservoir eingeschaltet war, viermal um die ganze Peripherie des Kastens. Das eine Ende dieser Leitung konnte durch eine Seitenwand hindurch mit dem außerhalb befindlichen Gasentwickelungsapparat in Verbindung gebracht werden, während das andere Ende direkt an die Adsorptionsgläschen anschloß. Die Verbindung der Adsorptionsgläschen unter sich geschah bei Anwendung von Ammoniak und Kohlensäure so, daß das durch Druck fortgeleitete Gas erst eine Adsorptionsröhre durchströmen mußte, bevor es in das folgende und die weiteren der Reihe nach eintrat. Anders mußte die Anordnung bei Versuchen über Hygroskopizität getroffen werden. Während oben durch Entnahme des betreffenden Gases durch die adsorbirenden Bodenarten eine Aenderung in der Beschaffenheit des Gases nicht bedingt war, wurde hier der relative Feuchtigkeitsgehalt wesentlich niedriger, wenn durch die im ersten Glase befindliche Bodenart schon ein Theil der Feuchtigkeit der Luft entzogen war. Aus diesem Grunde wurde die entsprechend gesättigte Luft, nachdem sie das periphere Kühlrohr durchströmt hatte, in eine Glasröhre geleitet, welche eine der Zahl der Adsorptionsröhren entsprechende Anzahl Mündungen besaß. Jedes Adsorptionsgläschen wurde dann mit je einer dieser Mündungen einerseits und mit einem außerhalb befindlichen Aspirator andererseits verbunden.

Die Darstellung der Gase, sowie die entsprechende Sättigung der Luft geschah in einem abseits befindlichen anderen Apparate und wurde, wie erwähnt, das Gas den Bodenarten entweder durch Druck (NH_3; CO_2) oder durch Aspiratoren (Wassergas) zugeleitet.

Kohlensäure wurde im *Kipp*'schen Entwickelungsapparat aus Marmor und Salzsäure gewonnen und durch $NaHCO_3$ und $CaCl_2$ getrocknet und gereinigt.

Die Darstellung von Ammoniak geschah nach einer von *Jungfleisch*[1]) beschriebenen Methode aus fein gepulvertem CaO und NH_4Cl. Die Trocknung derselben wurde durch CaO- und KOH-Stückchen bewerkstelligt.

Entsprechend gesättigte Luft wurde in später näher zu beschreibender Weise hergestellt. Die Reinigung derselben erfolgte dadurch, daß dieselbe, bevor sie zur Sättigung gelangte, zuerst zur Entnahme von Staub, CO_2 und NH_3 durch zwei kleine nach Art der Spritzflaschen hergestellte

---

[1]) *Jungfleisch,* Manipulations du chimie. p. 105.

Gläschen streichen mußte, in denen sich verdünnte Schwefelsäure und Kalilauge befand.

Die Versuchsmaterialien waren größtentheils genau dieselben, welche schon vielen anderen Bestimmungen des agrikulturphysikalischen Institutes gedient hatten, so Prof. *Wollny*'s Bestimmungen der kapillaren Wasserleitung, der Wasserkapazität, des spezifischen und Volumgewichts, der Luftkapazität, *Eser*'s Bestimmungen der Verdunstungskapazität u. s. w. Es waren dies:

Quarzsand. Stammt aus der Nähe von Nürnberg. Von Natur fast völlig reiner Quarz wurde er erst noch durch Schlemmen, dann Kochen in Salzsäure und nachheriges Auswaschen mit Wasser von allen thonigen und löslichen Bestandtheilen befreit und durch darauffolgendes Sieben zu 7 verschiedenen Sorten isolirt, welche sich also in nichts als dem Feinheitsgrade unterschieden.

Quarzpulver. Aus reinen Quarzkrystallen des Böhmerwaldes durch Pulverisiren in einem eisernen Mörser gewonnen, nachträglich gereinigt, besteht dasselbe also aus reinster Kieselsäure.

Kaolin. Als solches kam Porzellanerde aus der kgl. Porzellanfabrik zu Nymphenburg zur Verwendung, welche abgeschlemmt und nach dem Trocknen im Porzellanmörser zu einem gleichmäßigen Pulver zerrieben wurde.

Humus. Torf aus dem Kolbermoor bei Rosenheim wurde mit Aether und Alkohol entharzt, mit Salzsäure ausgekocht, gewaschen, getrocknet und zu einem staubfeinen Pulver zerrieben.

Eisenoxydhydrat wurde in reinstem Zustand käuflich erworben.

Kohlensaurer Kalk aus einer $CaCl_2$-Lösung durch Na_2CO_3 gefällt, gewaschen und getrocknet.

Bodengemische. Aus den 3 Hauptkonstituenten Kaolin, Quarz und Humus wurden 6 Bodengemische derart zusammengestellt, daß stets je 2 Volumtheile des einen mit je einem Volumtheil des anderen Konstituenten innig vermischt wurden, so daß auf diese Weise je 2 Uebergangsprodukte von einem zum anderen Konstituenten entstanden.

Die Berechnung der aufgenommenen Gasmenge geschah nun in folgender Weise:

Die gereinigten bei 100° getrockneten Gläschen wurden noch im Trockenschrank geschlossen und nach dem Erkalten gewogen. Der Inhalt

des Gefäßes war vorher durch Füllung mit Quecksilber und Wägung ermittelt worden. **Die erste Wägung** ergab also das Gewicht des Gläschens mit dem der eingeschlossenen Luft. Da aber das Volumen der letzteren und deren Dichte (bei 100^0 eingeschlossen) bekannt war, so konnte deren Gewicht (p_l) ermittelt werden. Nach Abzug des Gewichtes der Luft blieb also das Gewicht des Gläschens als dessen Tara (p_t') zurück.

Nun wurden die Gläschen mit der längere Zeit vorgetrockneten Substanz gefüllt, einige Zeit der Trockenschranktemperatur ausgesetzt und wiederum noch in letzterem geschlossen, so daß die nunmehr eingeschlossene Luft ebenfalls eine Dichte von 100^0 besaß. Nach dem Erkalten ergab dann **die zweite Wägung** (P_2) das Gewicht des Gläschens mit dem der Substanz und dem der nunmehr eingeschlossenen Luft. Das Gewicht des Gläschens war (p_t') aus Obigem bekannt. Das Gewicht der Substanz und das der nunmehr eingeschlossenen Luft konnte durch folgende Ableitungen ermittelt werden.

2. Wägung — Tara = Gew. d. Substanz + Gew. d. Luft oder $P_2 - p_t' = p_s + p_l$

aber Gewicht = Volum × spez. Gewicht » $p_s = v_s \cdot s_s$

$p_l = v_l \cdot s_l$

$$P_2 - p_t' = v_s \cdot s_s + v_l \cdot s_l$$

Aber d. Volum d. Luft = Inhalt des Gefäses − Vol. d. Subst. » $v_l = V - v_s$

Das Volum der Substanz also $v_s = \dfrac{P_2 - (p_t' + V \cdot s_l)}{s_s - s_l}$

Da aber $p_t' + V \cdot s_e$ nichts anders als die erste Wägung, so $v_s = \dfrac{P_2 - P_1}{s_s - s_l}$.

Aus dem nunmehr bekannten Volum der Substanz und dem bekannten Inhalt des Gefäßes läßt sich dann leicht das Volum der eingeschlossenen Luft und aus diesem und dem bekannten spez. Gew. derselben (bei 100^0 eingeschlossen) das absolute Gewicht derselben ermitteln. Das Gewicht der Substanz ergiebt sich dann entweder aus dem Volum mal spez. Gew. oder einfacher aus der Differenz $P_2 - p_t' - p_l = p_s$.

Hierauf wurde die Substanz der zu adsorbirenden Gasart unter den angegebenen Verhältnissen ausgesetzt und von Zeit zu Zeit gewogen, bis keine bedeutendere Gewichtszunahme mehr auftrat. Die letzte Wägung, welche unter P_3 in die Tabellen aufgenommen wurde, enthält die nachstehenden 4 Größen:

1. p_t' Gewicht des Glases,
2. p_s Gewicht der Substanz, } a priori bekannt,
3. p_a Gewicht der verdichteten Gasmenge,
4. p_g Gewicht des über der Substanz stehenden nicht adsorbirten Gases.

Letzteres war an die Stelle der Luft, deren Volumen aus der zweiten Wägung bekannt geworden war, getreten und konnte deshalb leicht aus dem bekannten Volum und spez. Gewicht ermittelt werden.

Die adsorbierte Gasmenge war also ausgedrückt in Gewicht

$$p_a = P_3 - p_t' - p_s - p_g.$$

Um völlig vergleichbare Zahlen zu erhalten, wurde das so gefundene Gewicht nur noch in Prozente vom Gewicht der Substanz umgerechnet.

Nachstehendes Schema wird die Berechnungsweise deutlicher wiedergeben. Es sei bemerkt, daß die erste Rubrik die Bezeichnung jener Größen enthält, welche im Versuche selbst bestimmt wurden, während die zweite jene aus diesen durch Rechnung abgeleiteten umfaßt.

V.		Inhalt des Gefäßes, erhalten durch Quecksilberfüllung und Wägung.
P_1		Erste Wägung. Leeres mit Luft von 100° C. erfülltes Gefäß.
	p_l	Luftgewicht im leeren Gefäß. $p_l = V \times$ spez. Gewicht der Luft bei 100°.
	p_t'	Tara des Gefäßes $p_t' = P_1 - p_l$.
P_2		Zweite Wägung. Mit Substanz erfülltes Gefäß, vor der Adsorption. Eingeschl. Luft von 100°.
	v_s	Volum der Substanz. Berechnet nach obiger Formel $v_s = \frac{P_2 - P_1}{s_s - \text{spez. Gew. der Luft.}}$
s_s		Spezifisches Gewicht der Substanz.
	v_l	Volum der Luft im gefüllten Gefäß $v_l = V - v_s$.
	p_l'	Gewicht dieser Luft $= v_l \times$ spez. Gewicht.
	p_s	Gewicht der Substanz. $p_l = P_2 - p_t' - p_l$.
P_3		Dritte Wägung. Nach Beendigung des Versuches.
s_g		Spezifisches Gewicht der Gasart.
	p_g	Gewicht des über der Substanz stehenden Gases $= v_l \times s_g$.
	p_a	Gewicht des adsorbirten Gases $p_a = P_3 - p_t' - p_s - p_g$.
		p_s gr Substanz adsorbiren p_a gr Gas.
		100 gr Substanz mithin $\frac{100 \cdot p_a}{p_s}$ gr.

Die zur Berechnung nöthigen Angaben des spezifischen Gewichtes der Substanzen sind schon früher von Prof. *Wollny* gemacht und in seiner Zeitschrift[1]) veröffentlicht worden. Das spez. Gewicht der angewandten

[1]) Forschungen a. d. Geb. der Agrikulturphysik. VIII. p. 347.

Gasarten wurde unter Zugrundelegung der bei *Landolt* und *Börnstein* [1]) angegebenen Zahlen berechnet.

1 ccm wiegt gr.	S_s	1000 ccm wiegen gr	0° C.	0° C.	10° C.	20° C.	30° C.	100° C.
Quarzsand . .	2,639	Druckhöhe von	mm 760	mm 720	mm 720	mm 720	mm 720	mm 720
Quarzpulver . .	2,622	Ammoniak . .	0,7616	0,7215	0,6960	0,6722	0,6493	—
²/₃ Qu. ¹/₃ Ka. .	2,583	Kohlensäure . .	1,9781	1,8740	1,8077	1,7458	1,6881	—
¹/₃ Qu. ²/₃ Ka. .	2,549	Wassergas . .	0,8064	0,7639	0,7368	0,7117	0,6881	—
Kaolin	2,503	Luft, trocken .	1,2931	1,2250	1,1817	1,1412	1,1036	0,8961
²/₃ Ka. ¹/₃ Hu. .	2,279	» bei 0° gesättigt	—	1,2219	1,1787	1,1383	1,1008	—
¹/₃ Ka. ²/₃ Hu. .	1,931	» » 8,6° »	—	—	1,1769	1,1362	—	—
Humus	1,462	» » 10,0° »	—	—	1,1762	1,1358	1,0986	—
²/₃ Hu. ¹/₃ Qu. .	2,287	» » 14,0° »	—	—	—	1,1340	—	—
¹/₃ Hu. ²/₃ Qu. .	2,453	» » 18,2° »	—	—	—	1,1330	—	—
Eisenoxydhydrat	3,728	» » 20,0° »	—	—	—	1,1321	—	—
Kohlens. Kalk .	2,678	» » 30,0° »	—	—	—	1,1313	1,0940	—

Es trat nun an den Verfasser die Frage heran, ob bei Tabellirung der späteren Versuchsergebnisse das gegebene Schema in seiner ganzen Breite beibehalten werden solle, oder ob er sich auf die Wiedergabe nur jener Größen beschränken solle, welche sich direkt aus dem Versuche ergaben. Aus der Ueberlegung, daß eine Kontrole auch bei abgekürzter Tabellirung an der Hand des Schemas noch immer für jede Zahl ermöglicht ist, entschied sich derselbe schließlich dafür zu Gunsten der Uebersichtlichkeit und Kürze neben den direkt ermittelten Zahlen, welche im Schema mit großen Buchstaben angeführt sind, nur noch das berechnete Gewicht der Substanz und unter der Bezeichnung Gesammttara eine Zusammenfassung der Größen ($p_t' + p_s + p_g$), welche von P_3 subtrahirt das adsorbirte Gasgewicht geben, in den nun folgenden Tabellen aufzunehmen.

---

[1]) *Landolt* und *Börnstein*, Physikalisch-chemische Tabellen. p. 5.

Versuchsreihe I.

Einfluß der verschiedenen Feinheit der Bodentheilchen.

Als Versuchsmaterial dienten die oben näher beschriebenen 7 Quarzsortimente von verschiedener Feinheit. Die adsorptive Sättigung erfolgte bei 20° C.

Ammoniak bei 20° C.

Quarzsand.		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	I.-VII.
Gefäßinhalt ccm	V	45,869	45,732	41,786	42,334	44,630	44,156	44,887	44,100
Leeres Gefäß wog gr . .	P_1	37,3035	36,0471	39,4781	33,0949	40,1701	38,8713	39,6529	37,5293
Gefülltes Gefäß wog gr . .	P_2	57,9502	58,0192	64,1138	60,5253	68,0995	64,9257	63,4411	65,4892
Gew. der Substanz gr . .	ps	20,6545	21,9804	24,6449	27,4408	27,9400	26,0642	23,7972	27,9705
Gesammttara gr	pt	57,9424	58,0117	64,1074	60,5192	68,0930	64,9191	63,4340	65,4827
Nach Versuch gr	P_3	57,9637	58,0309	64,1248	60,5355	68,1064	64,9291	63,4420	65,4991
Eintritt der Sättigung .		—	—	—	—	—	—	—	— [1])
100 gr Substanz adsorb. gr .		**0,1031**	**0,0873**	**0,0706**	**0,0594**	**0,0479**	**0,0384**	**0,0336**	**0,0585**

Wassergas (gesättigte Luft) bei 20° C.

Quarzsand.		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	I.-VII.
Gefäßinhalt ccm	V	45,869	45,732	44,963	42,334	45,502	45,812	45,869	45,732
Leeres Gefäß wog gr . .	P_1	36,8136	36,0500	36,2877	33,0949	35,6915	36,7978	36,8088	36,0500
Gefülltes Gefäß wog gr . .	P_2	55,1729	51,8471	55,5075	53,7421	56,1076	58,3075	65,9646	68,1157
Gew. der Substanz gr . .	ps	18,3661	15,8030	19,2271	20,6550	20,4237	21,5177	29,1660	32,0766
Gesammttara gr	pt	55,1825	51,8571	55,5150	53,7509	56,1172	58,3170	65,9729	68,1235
Nach Versuch gr	P_3	55,2198	51,8836	55,5435	53,7717	56,1345	58,3293	65,9888	68,1439
Eintritt der Sättigung .		Nach 5 Tagen	Nach 5 Tagen	Nach 5 Tagen	Nach 5 Tagen	Nach 5 Tagen	Nach 5 Tagen	Nach 5 Tagen	Nach 5 Tagen
100 gr Substanz adsorb. gr .		**0,2031**	**0,1677**	**0,1378**	**0,1007**	**0,0847**	**0,0571**	**0,0545**	**0,0609**

[1]) Die zur Ammoniakdarstellung verwendete eiserne Retorte mußte im Laufe des Tages verschiedene Male mit neuem Materiale beschickt werden, wodurch eine häufigere Unterbrechung des Adsorptionsvorganges herbeigeführt wurde. Der Versuch wurde mit diesen Unterbrechungen nach etwa 6 Tagen beendet.

Ein flüchtiger Blick auf die gewonnenen Resultate läßt sofort erkennen, daß die adsorbirte Gewichtsmenge mit zunehmender Feinheit der Bodentheilchen, wie zu erwarten war, zunahm. Doch sprechen die Zahlen noch für eine weitere Gesetzmäßigkeit, welche ein näheres Eingehen auf dieselben nothwendig macht.

Angenommen, es sei die Adsorption reine Oberflächenwirkung, so müßte doch die bei der Oberfläche 1 mit 1 bezeichnete Adsorptionsgröße bei $^1/_2$ der ursprünglichen Oberfläche auch nur die Hälfte jener Größe betragen. Mit anderen Worten, es müßte die Adsorptionsgröße der Oberfläche proportional wachsen oder sinken.

Nun befinden wir uns bezüglich der Berechnung der Gesammtoberfläche, welche z. B. 1 Gramm der angewandten Quarzsortimente enthält, zunächst in mißlicher Lage, da doch die Quarzkörnchen keine regelmäßige Gestalt besitzen. Nichtsdestoweniger wird aber auch eine approximative Berechnung derselben hinreichend zu erkennen geben, daß die Adsorptionsgröße durchaus nicht der Oberfläche proportional steigt oder fällt, sondern daß erst dann zwischen Adsorptionsgröße und Oberfläche relative Verhältnisse zu Tage treten, wenn neben der Oberfläche auch die Masse mit in Rechnung gezogen wird.

Geht man als das Einfachste von der Voraussetzung aus, daß die Quarzkörnchen entweder Kugelform oder Würfelform besitzen, so berechnet sich aus dem bekannten Durchmesser bezw. Würfelseite eines Kornes dessen Masse und Oberfläche und aus dem bekannten spezifischen Gewicht dessen absolutes Gewicht. Auf diese Berechnung hin läßt sich leicht nachstehende Zusammenstellung geben.

	Korndurchmesser.	Im Mittel.	Kugeloberfläche. In 1 gr.	Kugeloberfläche. Verhältniß.	Würfeloberfläche. In 1 gr.	Würfeloberfläche. Verhältniß.
Quarzsand I	0,01 -0,071 mm	0,036	1666,6 qcm	1,000	3333,2 qcm	1,000
» II	0,071-0,114 »	0,092	652,2 »	0,391	1304,4 »	0,391
» III	0,114-0,171 »	0,142	422,5 »	0,253	845,0 »	0,253
» IV	0,171-0,25 »	0,210	285,7 »	0,172	571,4 »	0,172
» V	0,25 -0,5 »	0,380	157,9 »	0,095	315,8 »	0,095
» VI	0,5 -1,0 »	0,750	80,0 »	0,047	160,0 »	0,047
VII	1,0 -2,0 »	1,500	40,0 »	0,024	80,0 »	0,024

Mag man nun die Quarzkörnchen als Kugeln, Würfel oder Polyeder irgendwelcher Art auffassen, das Verhältniß der Oberflächen der einzelnen Sortimente unter einander wird immer dasselbe bleiben, d. h. immer im reziproken Werthe analoger Axen stehen. Eine einfache Ueberlegung macht uns dann klar, daß dies auch zutreffen wird, wenn nur die Form der Körnchen einer Sorte dieselbe ist wie die der anderen, mögen sie unter sich noch so irregulär und verschieden sein. Nun ist es aber nicht gut einzusehen, weshalb gerade eine Sorte Körnchen von vorherrschend dieser Gestalt und eine andere Sorte solche von vorherrschend anderer Gestalt enthalten soll. Soweit die Feinheit es zu beobachten zuläßt, bemerkt man eine auffallende Annäherung an die Kugelform, und es ist dies keineswegs überraschend, da ja sämmtliche Sortimente Produkte der natürlichen Verwitterung sind.

Drückt man nunmehr anschließend an das gefundene Oberflächenverhältnis auch die adsorbirte Gewichtsmenge in einem Verhältniß aus, wobei auch wieder die für Quarzsand I gefundene Größe mit 1 bezeichnet wird, so müßte man, falls die Adsorption Oberflächenwirkung allein wäre, die gleiche Zahlenreihe erhalten.

Quarzsand	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Oberfläche	1,000	0,391	0,253	0,172	0,095	0,047	0,024
Adsorbirte NH_3	1,000	0,847	0,684	0,576	0,464	0,372	0,326
» H_2O	1,000	0,826	0,679	0,496	0,417	0,281	0,268

Die gröberen Quarzsandsorten adsorbiren also weit mehr, als ihnen entsprechend ihrer Oberfläche zukommt. Ueber die Ursachen dieser Erscheinung lassen sich erst durch eine nochmalige Zerlegung dieser Zahlenreihe Vermuthungen aussprechen.

Zerlegt man nämlich die für die Adsorption gefundene Verhältnißreihe in zwei, deren eine das auf Oberflächenwirkung zurückzuführende Gasgewicht enthält, so restirt ein zweites Verhältniß, welches sich nur allmählich vom Werthe 1. entfernt, wie die nachstehende Ausführung erweist.

Ammoniak wurde adsorbirt:

Durch Quarzsand	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
1. Durch die Oberfläche	1,000 :	0,391 :	0,253 :	0,172 :	0,095 :	0,047 :	0,024
2. Auf andere Weise	1,000 :	1,303 :	1,115 :	0,980 :	0,833 :	0,697 :	0,628
Summa:	2,000 :	1,694 :	1,368 :	1,152 :	0,928 :	0,744 :	0,652

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Giebt das gefundene Verhältniß.	1,000 :	0,847 :	0,684 :	0,576 :	0,464 :	0,372 :	0,326
Wassergas wurde adsorbirt							
1. Durch die Oberfläche	1,000 :	0,391 :	0,253 :	0,172 :	0,095 :	0,047 :	0,024
2. Auf andere Weise	1,000 :	1,261 :	1,105 :	0,820 :	0,739 ;	0,515 :	0,512
Summa:	2,000 :	1,652 :	1,358 :	0,992 :	0,834 :	0,562 :	0,536
Giebt das gefundene Verhältniß.	1,000 :	0,826 :	0,679 :	0,496 :	0,417 :	0,281 :	0,268

Bei Durchführung der gleichen Berechnung für die Zahlen der *Ammon*'schen [1]) Versuche über den Einfluß der Feinheit der Bodentheilchen auf die Ammoniakadsorption stößt man auf die gleiche Erscheinung. Die Berechnung ergiebt:

Für Ammoniak.

Quarzsand.	I.	II.	III.	IV.	V.
1. Das durch die Oberfläche adsorbirte Gas	1,000 :	0,400	0,192	0,079	0,047
2. Das auf andere Weise adsorbirte Gas	1,000 :	1,316	1,252	1,063	0,823
Summa:	2,000 :	1,716 :	1,444 :	1,142 :	0,870
Giebt das gefundene Verhältniß	1,000 :	0,858 :	0,722 :	0,571 :	0,435

Es konnten diese Verhältnisse deshalb nicht übergangen werden, weil es nun eine offene Frage ist, welchem Momente die unter 2. aufgeführte adsorbirte Menge ihr Entstehen verdankt. Jene drei ursächlichen Momente, welche Eingangs als die einzigen bisher bekannten aufgeführt wurden, wirken alle entweder genau im Verhältniß der Oberfläche oder doch annähernd hierzu, da sich die chemischen Kräfte zunächst doch im Maße der Oberfläche als deren Angriffspunkte geltend machen. Uebrigens ist für diesen speziellen Fall die Mitwirkung chemischer Kräfte sehr unwahrscheinlich. Die Zahlen selbst legen den Gedanken nahe, daß es hier nicht die Oberfläche, sondern die Masse ist, da sich das zweite Verhältniß nur allmählich vom Werthe 1 entfernt, und es ist wohl das Wahrscheinlichste, daß man es hier mit einer der Absorption der Gase in Flüssigkeiten analogen Erscheinung, d. h. mit einer intramolekularen Einlagerung der Gasmoleküle zwischen die Körpermoleküle zu thun habe, also gewissermaßen

[1]) *Wollny*'s Forschungen. Bd. II. p. 1—46.

mit einer Auflösung der Gase im festen Körper. Ist doch die Diffusion der Gase durch feste Körper vielfach erwiesen, und hegte schon *Graham*, neuerdings *Troost*[1]) (1884) die Vermuthung, daß die Diffusion der Gase in naher Beziehung stehe zur Adsorption derselben. Die geringe Abnahme des Verhältnisses ließe sich dann leicht mit der größeren Schwierigkeit des Eindringens in die tieferen Schichten des Kornes erklären, auch fände eine Erscheinung, deren im Späteren «Ueber die Funktion der Zeit bei der Adsorption» Erwähnung gethan werden soll, an dieser Auffassung eine wesentliche Stütze. Auch die Ergebnisse der *Kayser*'schen Untersuchungen könnten hiermit erklärt werden. Wie schon gesagt, ging *Kayser* von dem Gedanken aus, zunächst die Adsorptionsgröße an genau bekannter Oberfläche, und hierauf aus der gefundenen Adsorptionsgröße die Oberfläche eines feinen Pulvers zu bestimmen. Dieser Plan mußte aber aufgegeben werden, und wenn dies geschah, so war damit anerkannt worden, daß es die Oberfläche allein nicht sein konnte, welche die Adsorptionsgröße bestimmte. Beruhe nun, was hier angenommen wird, die Adsorption zum Theil auf Oberflächen-, zum Theil auf Massenwirkung, so ist es doch selbstverständlich, daß die verschiedene Adsorptionsgröße nicht einfach durch das Multiplum der Oberfläche ausgedrückt werden kann. Noch sei erwähnt, daß sich auch *Bunsen*[2]), bevor er durch die glückliche Entdeckung der permanenten Wasserschichten eine Erklärung für die unverhältnißmäßig lange Dauer der Adsorption gefunden hatte, in ähnlichem Sinne aussprach, indem er sagt: «Die unverhältnißmäßig lange Dauer der Adsorption wird kaum anders als durch die Annahme begreiflich, daß die Glasmasse für Gase nicht völlig undurchdringlich sei, und daß die Theilchen der liquid gewordenen Kohlensäure bei dem Eindringen in die molekularen Interstitien des Glases einen Widerstand zu überwinden haben, der sich in einem mit der Zeit wachsenden Verhältniß steigert».

Das Ergebniß dieser Versuchsreihe ließe sich in folgende 3 Sätze zusammenfassen.

1) Die bisherige theoretische Auffassung der Adsorptionserscheinungen reicht nicht aus, um alle hierher gehörigen

---

1) *Lehmann*, Molekularphysik. Bd. II. p. 82.
2) Annalen der Physik. N. F. Bd. XX. p. 545.

durch das Experiment nachweisbaren Erscheinungen zu erklären.

2) Die Adsorptionsgröße ist um so kleiner, je geringer die Feinheit des Materiales, jedoch nicht proportional dem Abnehmen der Oberflächen.

3) Adsorption und Hygroskopizität sind, soweit es sich um den Einfluß der Oberfläche handelt, denselben Gesetzmäßigkeiten unterworfen.

Versuchsreihe II.

Einfluß der Temperatur auf die Adsorption von Kohlensäure und Ammoniak.

Wie den Einfluß der Temperatur ist diese Versuchsreihe auch dazu geeignet, den Einfluß des verschiedenen Materiales zur Anschauung zu bringen. Die Gewinnung der Zahlen geschah auf die schon beschriebene Weise; nur sei hier hinzugefügt, und es gilt dies für alle späteren Versuche, daß der Eintritt einer vollkommenen Sättigung allem Gesagten zu Folge schon von vorneherein nicht erwartet werden konnte, und daß ein solcher auch niemals eintrat. Wenn daher trotzdem im Späteren von dem Eintritt einer Sättigung gesprochen wird, so bedeutet dies im Hinweis hierauf nur den Eintritt jener Periode, in welcher die Gasverdichtung nur mehr durch die Absorption in den permanenten Flüssigkeitsschichten oder durch allenfallsige schwerfällige chemische Reaktionen bedingt war. Die so entstandene tägliche Aufnahme war im Vergleich zur Gesammtaufnahme eine verschwindend kleine.

Kohlensäure bei 0°.

	Quarz.	Kaolin.	Humus.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,156	44,963	44,963	43,960	44,100
P_1	38,8713	35,2291	35,2291	39,3320	37,5298
P_2	62,5844	43,1275	41,2757	58,1445	52,6585
p_0	23,7211	7,9012	6,0503	18,8170	15,1842
p_1	62,6187	43,1684	41,3156	58,1825	52,6961
P_3	62,6242	43,1865	41,4669	59,4951	52,7006
100 gr adsorbiren	0,023	0,329	2,501	6,975	0,028

Kohlensäure bei 10° C.

	Quarz.	Kaolin.	Humus.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,156	44,963	44,963	43,960	44,100
P_1	38,8713	35,2291	35,2291	39,3320	37,5298
P_2	62,5839	43,1275	41,2757	58,1445	52,6511
p_0	23,7206	7,9012	6,0503	18,8170	15,1268
p_1	62,6159	43,1656	41,3129	58,1800	52,6861
P_3	62,6210	43,1841	41,4415	59,2529	52,6942
100 gr adsorbiren	0,021	0,298	2,125	5,702	0,053

Kohlensäure bei 20° C.

	Quarz.	Kaolin.	Humus.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	43,960	44,963	44,963	43,960	33,188
P_1	39,3320	35,2291	35,2291	39,3320	31,9147
P_2	49,8376	43,1275	41,2757	58,1445	38,8524
p_s	10,5092	7,9012	6,0503	18,8170	6,9400
p_t	49,8715	43,1690	41,3104	58,1776	38,8784
P_3	49,8739	43,1812	41,4177	59,1286	35,8812
100 gr adsorbiren	0,023	0,261	1,773	5,054	0,034

Kohlensäure bei 30° C.

	Quarz.	Kaolin.	Humus.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	43,960	44,963	44,963	43,960	33,188
P_1	39,3320	35,2291	35,2291	39,3320	01,9147
P_2	49,8376	43,1275	41,2757	58,1445	38,8524
p_s	10,5092	7,9012	6,0508	18,8170	6,9400
p_t	49,8692	43,1606	41,3080	58,1755	38,8766
P_3	49,8715	43,1776	41,3975	58,9795	38,8779
100 gr adsorbiren	0,022	0,215	1,479	4,274	0,019

Ammoniak bei 0°.

	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,156	42,334	45,869	43,960	44,887	45,732	41,786	44,630	44,100	45,812	42,334
P_1	38,8713	33,0949	36,8088	39,3638	39,6529	36,0500	39,4781	40,1701	37,5298	36,7978	33,0949
P_2	51,8433	44,2314	46,8418	49,5172	50,1645	44,7047	46,1958	47,1280	43,6056	43,1195	37,1562
p_s	12,4763	11,1403	10,0366	10,1571	10,5157	8,6587	6,7218	6,9605	6,0785	6,3232	4,0636
p_t	51,8365	44,2247	46,8345	49,5102	50,1575	44,6975	46,1898	47,1207	43,5984	43,1118	37,1490
P_3	51,8498	44,2557	46,8829	49,5834	50,5101	45,3628	47,4296	47,5221	43,7229	43,3650	37,1594
100 gr adsorb.	0,107	0,278	0,482	0,721	3,358	7,684	18,452	5,767	2,048	4,004	0,256

Ammoniak bei 10° C.

	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$
v	44,156	42,334	45,869	43,960	44,887	45,732	41,786	44,630	44,100	45,812
P_1	38,8713	33,0949	37,3085	39,3638	39,6529	36,0500	39,4781	40,1701	37,5298	36,7978
P_2	51,3422	47,3939	49,7598	49,5201	48,3816	44,6890	46,1940	47,0694	43,6074	43,1321
p_s	12,4752	14,3039	12,4607	10,1600	8,7822	8,6429	6,7200	6,9019	6,0808	6,3358
p_t	51,3348	47,3865	49,7516	49,5121	48,3734	44,6806	46,1866	47,0610	43,5990	43,1233
P_3	51,3487	47,4135	49,7927	49,5657	48,6022	45,1732	47,0942	47,3635	43,7052	43,3371
100 gr adsorb.	0,075	0,189	0,330	0,527	2,620	5,698	13,506	4,383	1,747	3,374

Ammoniak bei 20° C.

	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,156	42,334	45,869	43,960	44,887	45,732	41,786	44,630	44,100	45,812	44,963
P_1	38,8713	33,0949	37,3085	39,3638	39,6529	36,0500	39,4781	40,1701	37,5298	36,7978	35,2291
P_2	51,3428	47,3922	51,3185	49,5201	48,4136	44,7324	46,2081	47,0859	43,6110	43,1412	46,2617
p_s	12,4758	14,3022	14,0199	10,1600	8,7642	8,6864	6,7341	6,9184	6,0889	6,3449	11,0864
p_t	51,3339	47,3840	51,3093	49,5111	48,4048	44,7231	46,1998	47,0765	43,6016	43,1318	46,2527
P_3	51,3408	47,4050	51,3457	49,5540	48,5754	45,1050	46,9079	47,3070	43,6708	43,2994	46,2671
100 gr adsorb.	0,055	0.147	0,259	0,422	1,952	4,396	10,515	3,332	1,129	2,649	0,130

Ammoniak bei 30° C.

	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,156	42,334	45,869	43,960	44,887	45,782	41,786	44,630	44,100	45,812	44,963
P_1	38,8713	33,0949	37,3035	39,3638	39,6529	36,0500	39,4781	40,1701	37,5293	36,7978	35,2291
P_2	51,3426	47,3918	51,3183	49,5197	48,4130	44,7315	46,2063	47,0995	43,6110	43,1415	46,2745
p_s	12,4756	14,3018	14,0197	10,1596	8,7636	8,6855	6,7323	6,9320	6,0839	6,3452	11,0492
p_t	51,3328	47,3827	51,3084	49,5099	48,4029	44,7213	46,1971	47,0891	43,6006	43,1306	46,2645
P_3	51,3385	47,3991	51,3390	49,5460	48,5445	45,0427	46,7759	47,2742	43,6573	43,2904	46,2783
100 gr adsorb.	0,046	0,115	0,218	0,355	1,616	3,700	8,599	2,670	0,932	2,518	0,125

Läßt man zunächst den Wechsel der Temperatur aus den Betrachtungen fort, so fällt vor Allem der große relative Unterschied, mit welchem die einzelnen Bodenkonstituenten sich der sie umströmenden Gase bemächtigen, in die Augen. Weiters aber deuten die Zahlen an, daß die Adsorption eine ganz spezifische Wechselwirkung zwischen Substanz und Gas bedeutet, denn wenn z. B. der Humus nahezu das Vierfache von dem zurückhält, was das Eisenoxydhydrat an adsorbirtem Ammoniak beherbergt, so kommt dieses letztere dem Humus bei Adsorption der Kohlensäure wieder zuvor. Alle diese Verhältnisse deuten von Neuem darauf hin, daß die Adsorption nicht nur Flächenanziehung sei. So kam z. B. Kaolin in einem staubfeinen Pulver zur Anwendung, Eisenoxydhydrat dagegen in relativ groben muschelig gebrochenen Körnchen; und dennoch zeigte das letztere durchweg ein weit kräftigeres Adsorptionsvermögen als der Kaolin. *Ammon* [1]) findet dafür, wie überhaupt für das verschiedene Verhalten der Bodenkonstituenten nur eine Erklärung in den chemischen Veränderungen, welche dieselben bei Zuführung von Gasen in Folge der leichten Umsetzungsfähigkeit ihrer Bestandtheile erleiden. Verfasser kann dieser Ansicht nicht beipflichten, so einfach damit auch die Erklärung abgemacht sein könnte. Denn das übrige Verhalten und gerade das hier beobachtete Verhalten zur Temperatur weist zu deutlich darauf hin, daß die Hauptmasse des adsorbirten Gases (es gilt dies zum Mindesten für Ammoniak und Wasser) auf physikalische Weise zurückgehalten wird.

Bezüglich des Einflusses der Temperatur zeigen die Zahlen, daß zwischen 0° bis 30° C. die Adsorptionsgröße mit zunehmender Temperatur

[1]) Forschungen a. d. Geb. der Agrikulturphysik. II. pag. 45.

abnimmt und zwar steht diese Abnahme in naher Beziehung zur zunehmenden Tension.

Zweifelsohne wird ein Körper um so mehr verdichten können, je geringer die Widerstände sind, welche sich ihm bei diesem Vorgange entgegenstellen. Diese Widerstände sind ihm aber, solange wir die Adsorption als physikalisch bewerkstelligte Anziehung der Gasmoleküle ansehen, in der Tension der Gase gegeben, d. h. in dem Bestreben derselben, in Gasform zu verbleiben. Ist die Tension groß, so vermag wenig, ist sie geringer, mehr verdichtet zu werden. Durch erhöhte Temperatur der zu adsorbirenden Gasart wird aber deren Tension erhöht, und es müßte deshalb mit steigender Temperatur immer weniger zurückgehalten werden, was auch thatsächlich der Fall ist, und nicht nur dies, es müßte auch die zurückgehaltene Gasmenge genau im Verhältniß zum reziproken Werthe der Tension stehen. Nun wissen wir aber, daß neben rein physikalischen Momenten auch chemische Kräfte am Verdichtungsprozeß betheiligt sind, und es wird aus diesem Grunde auch nur annähernd der Zusammenhang zwischen Tension und Adsorption durch das Experiment nachweisbar werden, derselbe wird um so mehr verwischt werden, je mehr die auf physikalische Weise bewirkte Gasverdichtung gegen die auf andere Weise bewirkte zurücktritt. Um nun den Gang der Verdichtung mit der Tension bequem verfolgen zu können, wurden nachstehend die Versuchsergebnisse wieder in Verhältnißzahlen ausgedrückt, wobei die bei 0° gewonnene Größe zum Ausgangspunkt diente. Der reziproke Werth der Tension wurde zum Vergleiche ebenfalls von dem bei 0° mit 1. bezeichneten Werthe aus in Verhältnißzahlen an den Kopf der Tabelle gestellt. Um analoge Betrachtungen nicht trennen zu müssen, wurden die Resultate über Wassergasaufnahme schon hier mit in die Berechnung hereingezogen, obwohl die Resultate der Versuche hierüber und deren Besprechung erst in der nächsten Versuchsreihe gegeben werden kann.

Ammoniak.

Temperatur.	0°	10° C.	20° C.	30° C.
Tension	4,19 atm.	6,02 atm.	8,41 atm.	11,45 atm.
reciprok $\frac{1}{T}$	0,239 »	0,166 »	0,119 »	0,088 »
Verhältniß	**1 :**	**0,69 :**	**0,50 :**	**0,37**
Quarz adsorbirte	1 :	0,70 :	0,51 :	0,43
²/₃ Qu. ¹/₃ Ka. »	1 :	0,68 :	0,53 :	0,41
¹/₃ Qu. ²/₃ Ka. »	1 :	0,70 :	0,53 :	0,45
Kaolin »	1 :	0,73 :	0,58 :	0,49
²/₃ Ka. ¹/₃ Hu. »	1 :	0,78 :	0,58 :	0,48
¹/₃ Ka. ²/₃ Hu. »	1 :	0,74 :	0,57 :	0,48
Humus »	1 :	0,73 :	0,56 :	0,46
²/₃ Hu. ¹/₃ Qu. »	1 :	0,76 :	0,58 :	0,46
¹/₃ Hu. ²/₃ Qu. »	1 :	0,85 :	0,55 :	0,45
Eisenoxydhydrat »	1 :	0,84 :	0,66 :	0,62
Kohlens. Kalk »	1 :	0,— :	0,51 :	0,49

Kohlensäure.

Tension	34,40 atm.	46,05 atm.	58,84 atm.	73,84 atm.
reciprok $\frac{1}{T}$	0,0238 »	0,0217 »	0,0169 »	0,0135 »
Verhältniß	**1 :**	**0,76 :**	**0,59 :**	**0,47**
Quarz adsorbirte	1 :	0,91 :	1,00 :	0,96
Kaolin »	1 :	0,91 :	0,79 :	0,65
Humus »	1 :	0,85 :	0,71 :	0,59
Eisenoxydhydrat »	1 :	0,82 :	0,72 :	0,61

Wassergas.

Tension	4,5687 mm	9,1398 mm	17,3632 mm	31,5096 mm
reciprok $\frac{1}{T}$	0,2188 »	0,1094 »	0,0576 »	0,0317 »
Verhältniß	**1 :**	**0,50 :**	**0,26 :**	**0,15**
Quarz adsorbirte	1 :	0,48 :	0,28 :	0,19
²/₃ Qu. ¹/₃ Ka. »	1 :	0,46 :	0,23 :	0,13
¹/₃ Qu. ²/₃ Ka. »	1 :	0,47 :	0,22 :	0,15
Kaolin »	1 :	0,52 :	0,27 :	0,24
²/₃ Ka. ¹/₃ Hu. »	1 :	0,61 :	0,24 :	0,19
¹/₃ Ka. ²/₃ Hu. »	1 :	0,51 :	0,24 :	0,17
Humus »	1 :	0,54 :	0,26 :	0,16
²/₃ Hu. ¹/₃ Qu. »	1 :	0,52 :	0,24 :	0,16
¹/₃ Hu. ²/₃ Qu. »	1 :	0,52 :	0,29 :	0,24
Eisenoxydhydrat »	1 :	0,59 :	0,30 :	0,19
Kohlens. Kalk »	1 :	0,49 :	0,24 :	0,15

Die vorstehende Zerlegung der Versuchsergebnisse bietet also eine hinreichende Bestätigung für das Vorausgeschickte. Die Adsorptionsgröße geht im Allgemeinen mit dem reziproken Werth der Tension parallel, je weiter dieses Verhältniß, desto weiter ist auch das Verhältniß der Abnahme. Die fast durchweg zu beobachtende Neigung zu einem engeren Verhältniß, als dies die Tension bietet, läßt sich wohl größtentheils auf die Mitwirkung chemischer Reaktionen zurückführen, zumal eine solche Depression um so größer wird, je größer die Wahrscheinlichkeit für chemische Prozesse in der Substanz ist.

Versuchsreihe III.

Einfluß der Temperatur auf die Hygroskopizität.

Während in den eben genannten Versuchen die angewandte Gasart bei allen Temperaturen die gleiche relative Zusammensetzung behielt, denn sie war homogen, so ist dies bei den nunmehrigen Versuchen über die Wasseraufnahme nicht ohne Weiteres der Fall. Die hygroskopische Sättigung kann ja nur aus einem Gemisch von atmosphärischer Luft mit Wassergas geschehen und in Folge der bei verschiedener Temperatur verschiedenen Sättigungskapazität der Luft wird also zugleich mit der Temperatur auch die relative Zusammensetzung des Gasgemisches verändert. Es stehen jedoch Mittel zu Gebote, diese zunächst störenden Inkongruenzen auf einfache Weise zu beseitigen. Gelangt die Luft bei einer tieferen Temperatur zur Sättigung, so kann sie nach ihrer Sättigung auf jede gewünschte Temperatur erhöht werden, ohne zugleich eine Veränderung ihrer relativen Zusammensetzung zu erleiden, und so wurde auch die hier nöthige Konstanz der Luftzusammensetzung gesichert.

a. Einfluß der Temperatur bei gleichem absoluten Feuchtigkeitsgehalt der Luft.

Die Luft wurde bei 0° mit Wassergas gesättigt und dann der Reihe nach auf 0°, 10°, 20° und 30° erhöht und zur Adsorption gebracht. Die gefundenen Resultate waren:

Wassergas [Luft bei 0° gesättigt] bei 0° C.

	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	43,960	45,869	42,334	45,812	45,869	45,732	44,963	42,334	45,812	45,502	41,786
P_1	39,3638	36,8088	33,0949	36,7978	36,8088	36,0500	35,2291	33,0949	36,7978	35,4770	39,4791
P_2	47,8683	47,7343	41,9820	43,3519	46,1618	44,7703	41,6066	47,2327	51,8731	47,4103	43,1428
p_e	8,5074	10,9293	8,8902	6,5565	9,3567	8,7243	6,3814	14,1433	15,0808	11,9369	3,6659
p_t	47,8816	47,7479	41,9946	43,3660	46,1754	44,7837	41,6199	47,2445	51,8860	47,4241	43,1560
P_3	47,8951	47,8127	42,1019	43,5337	46,6078	45,4365	42,6348	48,0362	52,2518	49,2756	43,1642
Nach Tagen . .	8	8	10	16	30	42	50	32	22	66	5
100 gr adsorb.	0,159	0,593	1,207	2,558	4,621	7,482	15,904	5,598	2,426	15,512	0,224

Wassergas [Luft bei 0° gesättigt] bei 10° C.

	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,156	43,960	42,334	41,786	45,502	45,502	44,887	45,869	45,732	44,630	44,100
P_1	38,8713	39,3320	33,0949	39,4781	35,4770	35,4770	39,6529	37,3035	36,0471	40,1701	37,5293
P_2	62,5837	54,4357	45,6764	47,9054	46,7736	44,4544	46,2248	49,5714	49,7592	55,4349	52,6564
p_e	23,7205	15,1089	12,5859	8,4303	11,3010	8,9816	6,5759	12,2727	13,7171	15,2685	15,1321
p_t	62,5936	54,4464	45,6870	47,9162	46,7850	44,4659	46,2362	49,5828	49,7705	55,4463	52,6673
P_3	62,6118	54,4872	45,7586	48,0288	47,1053	44,8079	46,8037	49,9409	49,9439	56,8516	52,6840
Nach Tagen . .	5	5	5	7	9	12	18	12	9	36	4
100 gr adsorb.	0,077	0,270	0,569	1,335	2,834	3,808	8,629	2,918	1,264	9,204	0,110

Wassergas [Luft bei 0° gesättigt] bei 20° C.

	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,156	44,963	33,188	43,960	45,502	45,812	44,887	45,869	45,732	44,630	44,100
P_1	38,8713	35,2291	31,9147	39,3638	35,4770	36,7978	39,6529	37,3035	36,0471	40,1701	37,5293
P_2	62,5873	52,3478	45,1191	51,7832	46,7598	47,9892	46,3970	49,5432	49,7442	55,7199	52,6564
p_e	23,7241	17,1246	13,2091	12,4238	11,2872	11,1966	6,7482	12,2445	13,7021	15,5585	15,1321
p_t	62,5958	52,3571	45,1259	51,7928	46,7695	47,9989	46,4067	49,5530	49,7539	55,7297	52,6658
P_3	62,6062	52,3805	45,1617	51,8792	46,8966	48,2005	46,6864	49,7171	49,8525	56,4494	52,6740
Nach Tagen . .	4	4	5	7	7	7	12	6	5	18	4
100 gr adsorb.	0,044	0,137	0,271	0,695	1,126	1,800	4,145	1,340	0,719	4,627	0,054

Wassergas [Luft bei 0° gesättigt] bei 30° C.

	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,156	44,963	33,188	41,786	45,502	45,812	44,887	45,869	45,732	44,630	44,100
P_1	38,8713	35,2291	31,9147	39,0190	35,4770	36,7978	39,6529	37,3035	36,0471	40,1701	37,5293
P_2	62,5812	52,3478	45,1191	47,4415	46,7598	47,9892	46,0609	49,5432	49,7442	55,4397	49,9136
p_e	23,7180	17,1246	13,2090	8,4255	11,2872	11,1966	6,4119	12,2445	13,7021	15,2733	12,3884
p_t	62,5884	52,3557	45,1248	57,4494	46,7681	47,9973	46,0692	49,5515	49,7524	55,4480	49,9217
P_3	62,5957	52,3691	45,1493	47,4775	46,8656	48,1417	46,2287	49,6615	49,8327	55,9010	49,9259
Nach Tagen . .	3	3	3	4	4	4	10	4	3	8	3
100 gr adsorb.	0,031	0,078	0,185	0,334	0,864	1,289	2,487	0,898	0,586	2,966	0,034

Die sich hier anschließende, in Vorigem aber schon wiedergegebene Umrechnung dieser Resultate in Relativzahlen bringt nicht nur den Zusammenhang auch der Hygroskopizität mit der Tension zum Ausdruck, sondern sie bestätigt auch die Vermuthung, daß Gasadsorption und Hygroskopizität von vornherein denselben Gesetzmäßigkeiten bezüglich des Einflusses der Temperatur unterliegen.

Die nächste Frage wäre nunmehr: Wie verhalten sich die Bodenarten unter dem Wechsel der Temperatur, wenn ihnen eine für die betreffende Temperatur gesättigte Atmosphäre zu Gebote steht? Auch hierüber wurden Versuche angestellt, deren Ergebnisse nachstehende Zahlen aufweisen.

Ueber die Art und Weise der Sättigung der Luft, sowie über die Zuführung derselben zu den adsorbirenden Substanzen sind erst in nächster Versuchsreihe nähere Angaben gemacht, da diese letztere ohnedies eine ausführlichere Wiedergabe der Gewinnungsweise einer bestimmt gesättigten Atmosphäre nöthig macht.

b. Einfluß der Temperatur bei Anwendung gesättigter Luft.

Wassergas [Luft gesättigt] bei 0°.

	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	43,960	45,869	42,334	45,812	45,869	45,732	44,963	42,334	45,812	45,502	41,786
P_1	33,3638	36,8088	33,0949	36,7978	36,8088	36,0500	35,2291	33,0949	36,7978	35,4770	39,4781
P_2	47,8683	47,7348	41,9820	43,3519	46,1618	44,7703	41,6066	47,2327	51,8731	47,4103	43,1428
p_s	8,5074	10,9293	8,8902	6,5565	9,3567	8,7243	6,3814	14,1433	15,0808	11,9362	3,6659
p_t	47,8816	47,7479	41,9946	43,3660	46,1754	44,7837	41,6199	47,2445	51,8860	47,4241	43,1560
P_3	47,8951	47,8127	42,1019	43,5337	46,6078	45,4365	42,6348	48,0362	52,2518	49,2756	43,1642
Nach Tagen . .	8	8	10	16	30	42	50	32	22	66	5
100 gr adsorb.	0,159	0,593	1,207	2,558	4,621	7,482	15,904	5,598	2,426	15,512	0,224

Wassergas [Luft gesättigt] bei 10° C.

v	44,156	43,960	33,188	41,786	45,502	45,812	44,887	45,869	45,782	44,630	44,100
P_1	38,8713	39,8320	31,9147	39,0190	35,4770	36,7978	39,6529	37,3035	36,0471	40,1701	37,5293
P_2	62,5923	49,9757	45,1191	47,4413	46,7598	47,9892	46,6042	49,5432	49,7442	55,6267	49,9136
p_s	23,7290	10,6474	13,2091	8,4253	11,2872	11,1966	6,9556	12,2445	13,7021	15,2604	12,3884
p_t	62,6021	49,9869	45,1269	47,4520	46,7712	48,0005	46,6155	49,5546	49,7555	55,4381	49,9247
P_3	62,6412	50,0538	45,3170	47,6877	47,3165	48,8794	47,8076	50,2596	50,1222	58,3064	49,9596
Nach Tagen . .	5	5	6	12	25	38	48	30	20	46	5
100 gr adsorb.	0,164	0,629	1,439	2,798	4,831	7,849	17,139	5,758	2,676	18,796	0,283

Wassergas [Luft gesättigt] bei 20°C.

	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,963	42,334	45,502	45,812	45,869	45,732	44,963	42,334	45,812	45,502	45,502
P_1	36,2877	33,0949	35,6915	36,7978	36,8088	36,0500	36,2877	33,0949	36,7978	35,6915	35,6915
P_2	54,5796	46,9655	50,2981	43,8575	46,1831	45,7200	42,7440	47,2520	51,8992	47,6668	43,1874
p_s	18,2982	13,8754	14,6117	7,0622	9,8780	9,6745	6,4603	14,1627	15,1069	11,9782	7,4984
p_t	54,5885	46,9742	50,3074	43,8676	46,1929	45,7296	42,7535	47,2605	51,9085	47,6767	43,1974
P_3	54,6165	47,0600	50,4878	44,0466	46,6885	46,4645	43,7782	48,0894	52,2878	49,9795	43,2161
Nach Tagen . .	4	4	6	7	14	18	28	16	10	40	4
100 gr adsorb.	0,153	0,618	1,235	2,535	5,285	7,596	15,857	5,853	2,504	19,308	0,249

Wassergas [Luft gesättigt] bei 30°C.

v	44,156	33,188	33,188	45,869	45,502	45,812	44,963	45,869	45,732	45,732	44,100
P_1	38,8713	31,9147	31,9147	37,3035	35,4770	36,7973	35,2291	37,3035	36,0471	36,0471	37,5293
P_2	62,5827	47,1374	45,1191	47,3046	46,8598	47,9892	41,3952	49,5432	49,7442	42,7016	49,9140
p_s	28,7195	15,2280	13,2091	10,0047	11,2872	11,1966	6,1699	12,2445	13,7021	6,6561	12,3888
p_t	62,5894	47,1426	45,1244	47,3126	46,7675	47,9968	41,4029	49,5509	49,7513	42,7098	49,9215
P_3	62,6295	47,2401	45,3911	47,6238	47,3547	48,8790	42,5102	50,3089	50,1341	44,1147	49,9661
Nach Tagen . .	3	4	4	7	10	14	20	14	10	16	4
100 gr adsorb.	0,169	0,640	2,019	3,105	5,202	7,879	17,947	6,190	2,794	21,107	0,362

Ein Ueberblick über die letzt angeführten Resultate bietet nun zunächst ein recht befremdliches Bild. Wohl sind auch hier Schwankungen zu erkennen, doch stehen dieselben in keinerlei ersichtlichem Zusammenhang mit der Temperatur, und bewegen sich übrigens innerhalb weit engerer Grenzen, als wir es bisher gesehen hatten. Sieht man von den geringen Ausschlägen um den Mittelwerth ab, so ist wohl aus obigen Zahlen zu entnehmen, daß die aus einer gesättigten Atmosphäre aufgenommene Wassermenge auch bei wechselnden Temperaturen nahezu dieselbe bleibt.

Diese Gesetzmäßigkeit läßt sich nicht unschwer nach folgender Ueberlegung auch theoretisch begründen:

Ein Kubikmeter Luft enthält bei völliger Sättigung

bei	0° C.	. .	4,6428	gr	Wasser.
»	10° »	. .	9,3436	»	»
»	20° »	. .	17,1548	»	»
»	30° »	. .	29,1893	»	»

Die Menge des im gleichen Volum Luft enthaltenen Wassergases nimmt also mit der Temperatur beträchtlich zu, und es würde, wenn dieser Umstand allein maßgebend wäre, nicht zu verwundern sein, wenn auch die hygroskopisch zurückgehaltene Wassermenge in gleichem Maße zunehmen würde.

Andererseits ist die Tension des Wassergases

bei	0°	C.	. . 4,5687	mm	Quecksilberhöhe.
»	10°	»	. . 9,1398	»	»
»	20°	»	. . 17,3632	»	»
»	30°	»	. . 31,5096	»	»

Wie im ersten Abschnitte dieser Versuchsreihe gezeigt werden konnte, geht aber mit steigender Tension eine geringere Adsorption Hand in Hand, und zwar steht die Adsorptionsgröße annähernd im Verhältniß zum reziproken Werth der Tension. Diese letzteren Umstände bedingen also eine Abnahme der hygroskopisch zurückgehaltenen Menge nach dem Verhältniß $\frac{1}{T}$.

Wirken nun wie im gegebenen Falle die beiden Momente gleichzeitig, so würden sie als entgegengesetzte Kräfte den Einfluß der Temperatur völlig ausschalten können, wenn sie einander gleich wären.

Der maximale Feuchtigkeitsgehalt ist nun $= \frac{\text{Tension}}{1 + \alpha t} \cdot 1{,}06$[1]).

Die Größe der bei verschiedenen Temperaturen aus gesättigter Atmosphäre aufgenommenen Wassermenge also

$$H = \frac{1}{\text{Tension}} \cdot \frac{\text{Tension}}{1 + \alpha t} \cdot 1{,}06 = \frac{1{,}06}{1 + \alpha t}.$$

Der Werth für H berechnet sich so für eine bei

0°	C.	gesättigte	Atmosphäre	auf	1,06
10°	»	»	»	»	1,02
20°	»	»	»	»	0,99
30°	»	»	»	»	0,96.

Auf diese Weise wird man schließlich zu dem Resultate geführt, daß mit steigender Temperatur nur eine minimale Abnahme der Hygroskopizitätsgröße aus gesättigter Atmosphäre verbunden ist. Auch hier werden die auftretenden chemischen Reaktionen, welche in keinerlei Zusammen-

[1]) *K. B. Lehmann*, Methoden der praktischen Hygiene. p. 133.

hang mit der Tension stehen, Unregelmäßigkeiten zu verursachen im Stande sein.

Für das Bestehen einer solchen Gesetzmäßigkeit spricht weiter nicht nur die Thatsache, daß das *Saussure'*sche Haarhygrometer unabhängig von der Temperatur den relativen Feuchtigkeitsgehalt der Luft mit hinreichender Genauigkeit anzugeben vermag, sondern es stehen auch die Resultate, zu welchen *Schlösing* gelangte, hiermit in vollster Uebereinstimmung. Auch die eigenen Versuche können diese theoretisch abgeleitete Gesetzmäßigkeit im großen Ganzen bestätigen. Allerdings lassen sich im letzteren Falle geringe Abweichungen von einer konstanten Zahl wahrnehmen. Betrachtet man aber diese Abweichungen genauer, so erkennt man, daß dieselben mit keinerlei Regelmäßigkeit auftreten, ein Beweis, daß deren Ursache nicht in der Temperatur gelegen sein kann.

Das Ergebniß der letzten beiden Versuchsreihen wäre nunmehr:

1) Die Bodenarten besitzen alle eine sehr beträchtliche Hygroskopizität und Adsorptionsfähigkeit, doch wirken diese Kräfte bei verschiedenen Konstituenten für verschiedene Gase verschieden.
   a. Vergleicht man das durch das Substanzgewicht aufgenommene Gasgewicht, so besitzt der Humus, nächstdem das Eisenoxydhydrat das größte, Quarz und kohlensaurer Kalk das geringste Aneignungsvermögen für Ammoniak. Kaolin bewegt sich in der Mitte dieser beiden Gruppen.
   b. Für Kohlensäure ist das Adsorptionsvermögen weit geringer als für Ammoniak, doch bleibt die Reihenfolge der Konstituenten dieselbe mit Ausnahme des Eisenoxydhydrates, welches mit dem Humus seinen Platz vertauscht.
   c. Bezüglich der Hygroskopizität gilt die gleiche Reihenfolge der Konstituenten wie für Kohlensäure, doch sind die aufgenommenen Wassermengen ungleich höher, selbst höher als bei Ammoniak.
2) Bodengemische wirken mit der Summe ihrer einzelnen Bestandtheile.
3) Die Adsorptionsgröße nimmt zwischen 0—30° C. mit steigender Temperatur annähernd im Verhältniß des reziproken Werthes der Tension ab.

4) Die Hygroskopizität läßt die gleiche Gesetzmäßigkeit erkennen, wenn die Atmosphäre bei den verschiedenen Temperaturen gleichen absoluten Feuchtigkeitsgehalt besitzt.

5) Ist die Atmosphäre bei verschiedenen Temperaturen gesättigt, also von gleichem relativen Feuchtigkeitsgehalt, so ist die Temperatur ohne bedeutenden Einfluß auf die Hygroskopizitätsgröße.

Versuchsreihe IV.

Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Hygroskopizität.

Diese Versuchsreihe ist wohl der geeignetste Ort, um die Prinzipien der Methode zur Anschauung zu bringen, welche für die ganze vorliegende Arbeit endgültig allen hygroskopischen Versuchen diente. Da es sich aber bei Benützung derselben um die Vermeidung einer Fehlerquelle handelte, welche in ungeahntem Maße an unrichtigen Angaben die Schuld trug, so wird es nothwendig, etwas weiter auszugreifen.

Nach der von *Schübler* in Vorschlag gebrachten Methode werden bekanntlich die zu untersuchenden Substanzen einfach unter einer Glasglocke in kleinen offenen Gefäßen einer Atmosphäre ausgesetzt, welche von einem Wasserspiegel aus bleibend gesättigt erhalten wird.

Temperaturschwankungen dieser Atmosphäre, wenn auch nur minimale, sind unvermeidlich. Bei steigender Temperatur wird vom Wasserspiegel aus die Atmosphäre in kurzer Zeit wieder gesättigt. Sinkt darauf die Temperatur wieder, so erscheint ein Ueberschuß an Wasserdampf in Form eines feinen Niederschlages, den die zu untersuchenden Substanzen wohl aufnehmen, nicht aber in derselben stets gesättigten Umgebung wieder abgeben können, denn bei abermaligem Steigen der Temperatur sättigt sich die Atmosphäre wieder vom leicht erreichbaren Wasserspiegel aus, während das in den Hohlräumen der Substanz niedergeschlagene Wasser nun wieder von gesättigter Luft umgeben nicht zur Verdunstung kommen kann. Dieser als Kondensation bekannte und vielfach experimentell beobachtete Vorgang macht sich nun bei hygroskopischen Versuchen recht übel geltend, und es würde zu weit führen, die verschiedenerlei Modifikationen der Versuchsanordnung wiederzugeben, welche

alle die Beseitigung dieser ungemein störenden Kondensationswassermengen zum Zwecke hatten. Am Ausgiebigsten wurde denselben dadurch begegnet, daß die beiden Vorgänge der Sättigung der Luft mit Wassergas und der Abgabe derselben an die Bodenarten räumlich so weit getrennt wurden, daß sie von zwei verschiedenen Wärmequellen aus bei konstanter Temperatur erhalten werden konnten. Die gereinigte Luft sättigte sich demnach, indem sie durch eine nach Art der Spritzflaschen eingerichtete mit Wasser gefüllte Flasche strich, deren Temperatur genau regulirt werden konnte, wurde alsdann fortgeleitet, und gelangte in dem schon beschriebenen Adsorptionsapparate mit den gleichfalls thermisch regulierbaren Bodenarten in Berührung. Die ganze Bewegung der Luft wurde durch am Ende der Leitung angebrachte Aspiratoren bewerkstelligt. Waren nun die beiden Temperaturen am Orte der Sättigung und der Adsorption gleich, so operirte man mit gesättigter Luft, war jedoch die Temperatur im Sättigungsraume eine tiefere, so enthielt die Luft auf die Adsorptionstemperatur erhöht nur einen Theil derjenigen Wassermenge, welchen sie bei dieser Temperatur aufzunehmen im Stande ist, d. h. sie besaß einen um so geringeren relativen Feuchtigkeitsgehalt, je größer die Differenz zwischen Sättigungs- und Adsorptionstemperatur war. Bei Versuchen mit gesättigter Atmosphäre blieb der Sättigungsraum zunächst solange auf einer nur um Weniges niedereren Temperatur, als der Adsorptionsraum besaß, konstant, bis unter diesen Umständen die hygroskopische Sättigung erfolgt war; erst dann wurde vollkommene Sättigung der Luft eingeleitet. Dadurch war die Möglichkeit des Auftretens von Kondensationswassermengen bis auf die letzte Zeit der Aufnahme völlig hintangehalten worden.

In analoger Weise geschahen die Versuche über den Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit, denn da die beiden Temperaturen des Sättigungs- und des Adsorptionsraumes genau regulirt werden konnten, war auch die Regulirung der relativen Luftfeuchtigkeit gegeben; denn mit der Temperatur des Wassers ist dessen Tension bekannt, und aus letzterer kann nach der schon einmal verwendeten empirischen Formel:

$$\text{absoluter Feuchtigkeitsgehalt} = \frac{\text{Tension}}{1 + \alpha t} \cdot 1{,}06$$

[wobei α in herkömmlicher Weise den Ausdehnungskoeffizienten der Gase und t die Temperatur bedeutet] leicht der absolute Feuchtigkeitsgehalt

und in gleicher Weise für die höhere Temperatur der maximale Feuchtigkeitsgehalt ermittelt werden. Aus dem Verhältniß dieser beiden Größen ergiebt sich dann ohne Weiteres der relative Feuchtigkeitsgehalt. Es bedarf einzig einer kleinen Rechnung, für eine gegebene Temperatur und gegebenen Feuchtigkeitsgehalt den Thaupunkt, d. h. diejenige niedere Temperatur anzugeben, bei welcher sich die Luft mit Wassergas zu sättigen hat, um auf die gegebene Temperatur erhöht die gewünschte relative Feuchtigkeit zu erhalten.

Aus den bekannten Werthen für die Tension[1]) sowie nach obiger Formel[2]) gestalten sich die relativen Feuchtigkeitsverhältnisse einer

bei	0°	gesättigten	auf	20° C.	erhöhten	Luft	zu	30 %	rel.	Feucht.
»	8,6°	»	»	20° C.	»	»	»	50 %	»	»
»	14,0°	»	»	20° C.	»	»	»	70 %	»	»
»	18,2°	»	»	20° C.	»	»	»	90 %	»	»
»	20,0°	»	»	20° C.	»	»	»	100 %	»	»

In der dargelegten Weise wurden die Zahlen der folgenden Tabelle gewonnen, und, wie die Tabelle selbst andeutet, wurde die Substanz nicht wie bisher für jeden Versuch von Neuem ausgetrocknet, sondern dieselbe gelangte nach ihrer Sättigung in 30 % feuchter Luft in eine solche von 50 % und dann der Reihe nach in solche von 70 %, 90 % und 100 % relativer Feuchtigkeit, jedesmal wenn sie sich in der vorhergehend trockeneren Luft gesättigt hatte.

Nach *Mousson*[3]) hängt für einige hygroskopische Stoffkörper die Dicke der Wasserschicht, die an einer Fläche sich ansetzt, ab von der zur Verdunstung einwirkenden Verdampfungskraft, d. i. dem Ueberschuß des Druckes der von der Temperatur bestimmten Sättigung über den vorhandenen Dampfdruck der Luft, welcher entgegengesetzt der Adhäsion die oberflächlichen Wassertheilchen mit einer von der Dicke dieser Schicht abhängigen Stärke zurückhält.

Auch der Boden zeigt in seinem hygroskopischen Verhalten dieses Abhängigkeitsverhältniß zwischen hygroskopisch zurückgehaltener Menge einerseits und der Differenz von Sättigungsdruck und gegebenem Dampf-

---

1) *Landolt* und *Börnstein*, Physikalisch-Chemische Tabellen.

2) *K. B. Lehmann*, Methoden der praktischen Hygiene. p. 133.

3) Aus *Soyka*, Der Boden. pag. 116.

druck sowie der Dicke der vorhandenen Wasserschicht andererseits; aber wo, wie im gegebenen Falle, sowohl die Natur des untersuchten Materiales, wie auch die untersuchte Eigenschaft selbst von so viel komplizirterer Art als bei einfachen hygroskopischen Körpern, da werden zur Zeit auch alle Bemühungen umsonst sein, dieses jedenfalls nicht einfache Abhängigkeitsverhältniß in die engen Formen einer theoretischen Gleichung zu zwängen. Man wird sich vielmehr damit begnügen müssen, zu wissen, daß der Boden um so mehr hygroskopisch bindet, je wasserreicher die Luft ist.

Wassergas bei 20° C.

	Quarz.	Kaolin.	Humus.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$	
v	44,156	41,786	44,887	44,630	44,100	
P_1	38,8713	39,0190	39,6529	40,1701	37,5293	
P_2	62,5812	47,4415	46,0609	55,4397	49,9136	
p_s	23,7180	8,4255	6,4119	15,2732	12,3885	
p_t	62,5897	47,4508	46,0707	55,4495	49,9232	Bei 30%
P_3	62,6003	47,4925	46,3307	56,1375	49,9307	relativer
Ausgesetzt . . .	12 Tage	12 Tage	12 Tage	12 Tage	12 Tage	Feuchtig-
100 gr adsorb. .	0,045	0,495	4,055	4,505	0,061	keit.
p_t	62,5896	47,4507	46,0706	55,4494	49,9232	Bei 50%
P_3	62,6021	47,5136	46,5685	56,5910	49,9315	relativer
Weiter ausgesetzt	11 Tage	11 Tage	11 Tage	11 Tage	11 Tage	Feuchtig-
100 gr adsorb. .	0,053	0,746	7,765	7,475	0,067	keit.
p_t	62,5895	47,4506	46,0705	55,4493	49,9231	Bei 70%
P_3	62,6077	47,5392	46,7496	57,2547	49,9363	relativer
Weiter ausgesetzt	20 Tage	20 Tage	20 Tage	20 Tage	20 Tage	Feuchtig-
100 gr adsorb. .	0,076	1,051	10,589	11,818	0,107	keit.
p_t	62,5894	47,4509	46,0705	55,4493	49,9230	Bei 90%
P_3	62,6170	47,6289	47,0756	58,2005	49,9523	relativer
Weiter ausgesetzt	18 Tage	18 Tage	18 Tage	18 Tage	18 Tage	Feuchtig-
100 gr adsorb. .	0,119	2,116	15,676	18,014	0,237	keit.
p_t	62,5894	47,4506	46,0705	55,4493	49,9230	Bei 100%
P_3	62,6310	47,7497	47,2255	58,5664	49,9628	relativer
Weiter ausgesetzt	14 Tage	14 Tage	14 Tage	14 Tage	14 Tage	Feuchtig-
100 gr adsorb. .	0,175	3,550	18,014	20,409	0,321	keit.

Aus den gegebenen Zahlen lassen sich folgende Gesetzmäßigkeiten ableiten:

1) Die Hygroskopizitätsgröße wächst mit zunehmendem relativen Feuchtigkeitsgehalt der Luft.

2) Bei 20° C. ist die Zunahme bei gleichem Prozentintervall verschiedener relativer Luftfeuchtigkeit um so größer, je näher dieses Intervall dem höchsten Sättigungsgrade liegt.

Versuchsreihe V.

Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf die Adsorption der Gase.

Die Untersuchung geschah in folgender Weise. Die zunächst bei 100° getrockneten Bodenarten wurden mit einem entsprechenden Quantum Wasser gemischt und dann zur gleichmäßigen Vertheilung der Feuchtigkeit unter zeitweiligem Umrühren mit einem Glasstabe in geschütztem Raume einen Tag über stehen gelassen. Am folgenden Tage wurden dieselben in die Adsorptionsgläschen gefüllt, diese gewogen (P_2') und dann dem mit Wassergas gesättigten Gase ausgesetzt. Die Sättigung des Gases geschah durch eine Reihe von wassererfüllten im konstant erwärmten Raume befindlichen Gläschen, durch welche das Gas streichen mußte, bevor es in die Adsorptionsgefäße trat. Zu Ende des Versuchs gab ein abermaliges Austrocknen der Substanz den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens zu erkennen; derselbe mußte mit einer nebenher vorgenommenen Feuchtigkeitsbestimmung übereinstimmen.

Die Versuchsergebnisse waren:

Kohlensäure bei 20°C. [Gas trocken — Boden trocken].

	Quarz.	Kaolin.	Humus.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	43,960	44,963	44,963	43,960	33,188
P_1	39,3320	35,2291	35,2291	39,3320	31,9147
P_2	49,8376	43,1275	41,2757	58,1445	38,8524
ps	10,5092	7,9012	6,0503	18,8170	6,9400
pt	49,8715	43,1630	41,3104	58,1776	38,8784
P_3	49,8739	43,1812	41,4177	59,1286	38,8812
100 gr adsorbiren .	**0,023**	**0,261**	**1,773**	**5,054**	**0,034**

Kohlensäure bei 20° C. [Gas feucht — Boden feucht].

	Quarz.	Kaolin.	Humus.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	43,960	44,963	44,963	43,960	33,188
P_1	39,3320	35,2291	35,2291	39,3320	31,9147
P_2	51,7172	43,1979	41,3060	58,1239	47,4335
ps	12,3894	7,9716	6,0806	18,7964	15,5240
P_2'	53,7613	46,2760	43,1532	64,0041	50,6927
Bodenfeuchtigkeit .	16,5 %	38,6 %	30,4 %	31,4 %	20,9 %
pt	53,7831	46,2988	43,1762	64,0236	50,7069
P_3	53,7841	46,2951	43,1638	64,2417	50,7177
100 gr adsorbiren .	**0,008**	—	—	**1,160**	**0,068**

Ammoniak bei 20° C. [Gas trocken — Boden trocken].

	Quarz.	Kaolin.	Humus.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,156	43,960	41,786	45,812	44,963
P_1	38,8713	39,3638	39,4781	36,7978	35,2291
P_2	51,3428	49,5201	46,2081	43,1412	46,2617
ps	12,4758	10,1600	6,7341	6,3449	11,0364
pt	51,3339	49,5111	46,1998	43,1313	46,2527
P_3	51,3408	49,5540	46,9079	43,2994	46,2671
100 gr adsorbiren .	**0,055**	**0,422**	**10,515**	**2,649**	**0,130**

Ammoniak bei 20° C. [Gas feucht — Boden feucht].

	Quarz.	Kaolin.	Humus.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
v	44,156	44,963	44,887	44,630	44,100
P_1	38,8713	35,2291	39,6529	40,1701	37,5293
P_2	62,5812	43,1275	46,0609	55,4397	49,9136
ps	23,7180	7,9012	6,4119	15,2733	12,3884
P_2'	68,0385	44,8019	49,2323	63,0642	52,7003
Gew. des Wassers .	5,4573	1,6744	3,1714	7,6245	2,7867
pt	68,0249	44,7835	49,2152	63,0484	52,6835
P_3	70,9207	45,7153	51,7056	66,6430	54,2042
100 gr Subst. ads.	**12,21**	**11,79**	**38,85**	**23,53**	**12,28**
» » Wasser »	**53,07**	**55,65**	**78,53**	**47,15**	**54,57**

Um die Beobachtung der Gasadsorption durch feuchten Boden zu ermöglichen, mußte selbstverständlich dieser letztere über das Maß seiner hygroskopischen Sättigung angefeuchtet werden, da sonst die gleichzeitige Aufnahme von Wassergas aus der gesättigten Gasatmosphäre erstere völlig verdunkelt hätte. Vergegenwärtigt man sich nun, daß der Boden demnach den größten Theil seiner bei dieser Temperatur vorhandenen Adsorptionskräfte (wenn dieser Ausdruck gestattet ist) zu seiner hygro-

skopischen Sättigung in Anspruch genommen, mithin über keine Mittel zur Bindung nunmehr zugeführter Gase mehr verfügte, daß er dagegen bei 100° ausgetrocknet alle diese molekularen Kräfte zur Bindung des zugeführten Gases verwenden konnte, so ist schon im Voraus der Schluß zu ziehen, daß die Adsorptionsgröße getrockneter Böden ungleich höher ausfallen wird als die feuchter Böden. Nur da, wo eine chemische Vereinigung des Gases mit dem angefeuchteten Boden oder eine Absorption desselben im Bodenwasser wahrscheinlich ist, wird die zurückgehaltene Menge einen bemerkbareren Werth annehmen. Dies spricht sich nun sowohl in dem Verhalten des Eisenoxydhydrats gegen die feuchte Kohlensäure, als auch besonders im Verhalten sämmtlicher feuchten Bodenkonstituenten gegen Ammoniak aus. Hier scheint die Substanz ohne Einfluß auf die Adsorptionsgröße zu sein, vielmehr richtet sich dieselbe hier einzig nach der Menge des vorhandenen Wassers. Noch besser zeigt dieses letztere der folgende Versuch, bei welchem dieselbe Substanz (Kaolin) in verschiedenen Feuchtigkeitszuständen mit feuchtem Ammoniak in Berührung gebracht wurde.

Ammoniak bei 20°C. [Gas feucht — Boden feucht].

Kaolin.	trocken.	11,7 % feucht.	21,2 % feucht.	30,3 % feucht.	41,1 % feucht.	53,7 % feucht.
v	41,786	33,188	44,963	45,502	45,869	45,812
P_1	30,0190	31,9147	35,2291	35,4770	37,3035	36,7978
P_2	47,4542	39,9335	43,1275	43,8975	45,4816	44,9710
ps	8,4382	8,0217	7,9013	8,4235	8,1810	8,1761
P_2'	47,4542	40,8728	44,8019	46,4514	48,8466	49,3595
Gew. des Wassers	0,0000	0,9393	1,6744	2,5539	3,3650	4,3885
pt	47,4366	40,8595	44,7835	46,4333	48,8286	49,3421
P_3	47,7119	41,3907	45,7153	47,8134	50,6142	51,6210
100 gr Subst. ads.	**3,262**	**6,622**	**11,793**	**16,384**	**21,826**	**27,873**
» » Wasser »	—	**56,55**	**55,65**	**54,04**	**53,07**	**51,93**

Daß bei Aufnahme von Ammoniak durch feuchten Boden über die aufgenommene Menge vor Allem die Menge des vorhandenen Wassers entscheidet, tritt noch mehr hervor, wenn die Resultate der letzten beiden Versuche etwa in folgender Form zusammengestellt werden.

100 gr Wasser + 854 gr Kaolin adsorbiren 56,5 gr Ammoniak.
» » » + 472 » » » 55,7 » »

100	gr	Wasser	+ 445	gr	$CaCO_3$	adsorbiren	54,6	gr	Ammoniak.
»	»	»	+ 435	»	Quarz	»	53,1	»	»
»	»	»	+ 329	»	Kaolin	»	54,0	»	»
»	»	»	+ 243	»	»	»	53,1	»	»
»	»	»	+ 200	»	$Fe_2(OH)_6$	»	47,2	»	»
»	»	»	+ 202	»	Humus	»	78,5	»	»[1])
»	»	»	+ 186	»	Kaolin	»	51,9	»	»
»	»	»	ohne Substanz adsorbiren[2])				43,9	»	»

Es geht aus diesen Versuchen wohl deutlich genug hervor, daß:

Bei der Aufnahme feuchter Gase durch feuchten Boden die Art und Menge der Substanz gegenüber der Menge des Wassers in ihrem Einfluß auf die Adsorptionsgröße zurücktritt; daß dieser Vorgang wohl besser als Absorption in Wasser aufzufassen ist, welches durch die Substanz verunreinigt ist; und daß endlich die Gegenwart solcher Substanz den Absorptionskoeffizienten von Ammoniak in Wasser gegenüber dem in reinem Wasser allerdings etwas zu erhöhen vermag.

Versuchsreihe VI.

Die Funktion der Zeit bei der Hygroskopizität.

Waren im Bisherigen stets nur die Werthe für die Sättigung der Materialien unter den gegebenen Verhältnissen aufgeführt, so erheischt nunmehr die Vollständigkeit der Untersuchungen auch die Wiedergabe derjenigen täglichen Beobachtungen, welche ein Bild von dem zeitlichen Gang der untersuchten Eigenschaft zu geben im Stande sind, ein Abschnitt, welcher schon deshalb nicht übergangen werden darf, als die Litteratur hierüber so wenig enthält.

Was den Einfluß des Materiales auf die Aufnahmsdauer anbelangt, so kann die nachstehende Tabelle hierüber Aufschluß geben.

[1]) Die ausnahmsweise Höhe dieser Aufnahme ist wohl durch die chemische Differenz bedingt.

[2]) *Landolt* und *Börnstein*, Physikalisch-Chemische Tabellen.

Wassergas bei 20° C. Boden trocken — Luft gesättigt.

Hatte adsorbirt.	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Nach 1 Tag . . .	0,095	0,453	0,711	0,96	1,50	1,83	1,96	1,07	0,87	1,11	0,136
» 2 Tagen . .	0,139	0,574	0,904	1,58	2,36	2,68	3,22	1,78	1,37	2,05	0,228
» 3 » . .	0,152	0,614	1,092	1,88	3,07	3,30	4,84	2,61	1,54	2,83	0,249
» 4 » . .	0,153	0,618	1,146	2,18	3,43	4,03	5,77	3,17	1,79	3,74	0,249
» 5 » . .	—	—	1,228	2,44	3,93	4,40	7,11	3,59	2,00	4,89	—
» 6 » . .	—	—	1,235	2,50	4,21	4,84	8,33	3,79	2,21	5,70	—
» 7 » . .	—	—	—	2,53	4,35	5,25	9,36	4,10	2,36	6,67	—
» 8 » . .	—	—	—	—	4,59	5,72	10,18	4,38	2,43	7,49	—
» 9 » . .	—	—	—	—	4,82	6,16	10,88	4,65	2,48	8,53	—
» 10 » . .	—	—	—	—	4,96	6,49	11,39	4,82	2,50	9,41	—
» 12 » . .	—	—	—	—	5,24	7,13	12,51	5,29	—	10,69	—
» 14 » . .	—	—	—	—	5,28	7,31	13,32	5,70	—	12,05	—
» 16 » . .	—	—	—	—	—	7,57	14,03	5,85	—	13,27	—
» 18 » . .	—	—	—	—	—	7,60	14,64	—	—	14,30	—
» 20 » . .	—	—	—	—	—	—	15,02	—	—	15,08	—
» 22 » . .	—	—	—	—	—	—	15,28	—	—	15,73	—
» 24 » . .	—	—	—	—	—	—	15,56	—	—	16,35	—
» 26 » . .	—	—	—	—	—	—	15,86	—	—	16,81	—
» 28 » . .	—	—	—	—	—	—	15,89	—	—	17,28	—
» 30 » . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17,70	—
» 32 » . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18,20	—
» 34 » . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18,52	—
» 36 » . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18,87	—
» 38 » . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19,18	—
» 40 » . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19,31	—

Wie schon früher erwähnt werden mußte, macht diese Tabelle deutlich, daß eine thatsächliche Sättigung nicht erreicht werden konnte und andere noch längere Zeit fortgesetzte Versuche führten ebensowenig zu einem absoluten Abschluß des Prozesses. Der Eingangs geübten kritischen Untersuchung zu Folge kann auch von einem solchen nicht die Rede sein, denn es handelt sich ja bei allen hygroskopischen Versuchen nicht sowohl um eine adhärirte Wassermenge, als vielmehr um die Bildung einer dünnen Flüssigkeitsschicht, in welcher sich die anderen Gase auflösen. Diese nun dringen unter dem enormen kapillaren Druck, unter welchem sie sich befinden, zunächst in die molekularen Zwischenräume des Körpers ein und gestalten zunächst nur Theile desselben, im Verlauf einer sehr langen Zeit aber schließlich den ganzen Körper zu einer Pseudomorphose um (Verwitterung).

Auf die Rückwirkung dieses approximativen Sättigungspunktes auf alle früheren Versuchsergebnisse bedarf es wohl keines besonderen Hinweises. Ist die Angabe der Sättigung nicht konstant, so können auch alle früheren Angaben nicht völlig genau sein, doch wird diese Ungenauigkeit jene Grenze nicht überschreiten, welche die aus jenen gezogenen allgemeinen Gesetzmäßigkeiten hinfällig macht. Verfasser kann ja und wird auch niemals prätendiren, in den verschiedentlichen Zahlen absolute Werthe gegeben zu haben, wohl aber kann er behaupten, daß dieselben hinreichend jene allgemeinen Gesetzmäßigkeiten zu erkennen geben, welche in den einzelnen Versuchsreihen ausgesprochen wurden.

Zum zweiten macht die gleiche Tabelle ersichtlich, daß die Dauer bis zur Sättigung je nach der Substanz sehr verschieden ist, und daß sie um so größer wird, je größer die aufgenommene Menge ist.

Trägt man weiters aus obiger Zusammenstellung für die einzelnen Bodenarten die gewichtsprozentischen Angaben einerseits, die Angaben der Zeit andererseits auf ein rechtwinkeliges Koordinatensystem, so erhält man für jede Substanz eine Kurve, welche den zeitlichen Gang der hygroskopischen Wasseraufnahme versinnbildlicht. Sämmtliche auf diese Weise entstandenen Kurven besitzen das Gemeinsame, daß sie anfangs steiler aufsteigen, allmählich aber sehr bedeutend an Intensität verlieren.

Von entschiedenem Einfluß auf die Aufnahmsdauer zeigte sich neben dem Materiale auch die Temperatur und der relative Feuchtigkeitsgehalt.

Der Eintritt der Sättigung (in obigem Sinne) erfolgte:

Nach Tagen: Bei	Quarz.	2/3 Qu. 1/3 Ka.	1/3 Qu. 2/3 Ka.	Kaolin.	2/3 Ka. 1/3 Hu.	1/3 Ka. 2/3 Hu.	Humus.	2/3 Hu. 1/3 Qu.	1/3 Hu. 2/3 Qu.	$Fe_2(OH)_6$	$CaCO_3$
30° C. Luft bei 0° gesättigt	3	3	3	4	4	4	10	4	3	8	3
20 » » » 0° »	4	4	5	7	7	7	12	6	5	18	4
10 » » » 0° »	5	5	5	7	9	12	18	12	9	36	4
0 » » » 0° »	8	8	10	16	30	42	50	32	22	66	5
10 » » » 10° »	5	5	6	12	25	38	48	30	20	46	5
20 » » » 20° »	4	4	6	7	14	18	28	16	10	40	4
30 » » » 30° »	3	4	4	7	10	14	20	14	10	16	4

Humus hatte aufgenommen:

Bei Temperatur.	0° gesättigt.	10° gesättigt.	20° gesättigt.	30° gesättigt.	10° bei 0° gesättigt.	20° bei 0° gesättigt.	30° bei 0° gesättigt.
	%	%	%	%	%	%	%
Nach 1 Tag . .	0,12	1,40	1,96	3,59	1,35	1,61	2,14
» 2 Tagen . .	0,50	2,47	3,22	6,27	2,22	2,48	2,29
» 3 » . .	0,88	3,61	4,84	8,13	3,24	2,99	2,32
» 4 » . .	1,25	4,57	5,77	10,03	4,37	3,47	2,36
» 5 » . .	1,79	5,44	7,11	11,17	5,28	3,63	2,39
» 6 » . .	2,28	6,19	8,33	12,39	6,17	3,77	2,43
» 7 » . .	2,79	7,01	9,36	13,61	6,76	3,92	2,42
» 8 » . .	3,30	8,11	10,18	14,20	7,28	4,01	2,45
» 9 » . .	3,76	8,76	10,88	14,65	7,61	4,08	2,49
» 10 » . .	4,23	9,34	11,39	15,34	7,91	4,13	2,48
» 12 » . .	5,06	9,65	12,51	**15,98**	8,32	4,15	
» 14 » . .	5,95	10,37	13,32		8,49		
» 16 » . .	6,89	11,13	14,03		8,60		
» 18 » . .	7,60	12,02	14,64		8,63		
» 20 » . .	8,32	12,83	15,02				
» 22 » . .	9,09	13,62	15,28				
» 24 » . .	9,90	14,20	15,56				
» 26 » . .	10,61	14,70	15,86				
» 28 » . .	11,22	15,03	**15,89**				
» 30 » . .	11,83	15,38					
» 32 » . .	12,43	15,68					
» 34 » . .	12,96	**15,95**					
» 36 » . .	13,48						
» 38 » . .	13,99						
» 40 » . .	14,46						
» 42 » . .	14,89						
» 44 » . .	15,25						
» 46 » . .	15,59						
» 48 » . .	15,79						
» 50 » . .	**15,90**						

Die Temperatur an sich ist es also, wie diese Tabelle erweist, welche den Prozeß in auffallender Weise beschleunigt, und nicht der mit der Temperatur zunehmende Wassergehalt bei gesättigter Atmosphäre. Diese Erscheinung ist es auch, welche Verfasser im Früheren (Versuchsreihe I.) schon einmal berührte, und welche ihn in der Ansicht bestärkte, daß während der Adsorption auch eine Einwanderung von Gasmolekülen in die molekularen Zwischenräume des festen Körpers stattfinde, denn erst hieraus läßt sich eine Erklärung für diese Erscheinung geben. Höhere Temperaturen verleihen den Gasmolekülen größere Geschwindigkeit, und so werden lebhaft bewegte Gasmoleküle rascher in die Molekularinterstitien

einzudringen vermögen, als dies die sich träge fortbewegenden Moleküle niederer Temperaturen thun können.

Inwiefern der relative Luftfeuchtigkeitsgehalt von Einfluß auf die Adsorptionsdauer ist, mag durch die nachstehende Tabelle zu ersehen sein.

Humus bei 20° C. zur Adsorption ausgesetzt.

Datum.	Aufgenommen.
Der Versuch wurde bei 30 % relat. Feuchtigkeit begonnen.	
	%
31. Mai	0,00
1. Juni	1,68
2. »	2,96
3. »	3,47
4. »	3,62
5. »	3,68
6. »	3,73
7. »	3,80
8. »	3,94
9. »	3,99
10. »	4,01
11. »	4,03
12. »	4,05
Der Versuch wurde bei 50 % relat. Feuchtigkeit fortgesetzt.	
	%
13. Juni	4,91
14. »	5,77
15. »	6,41
16. »	6,96
17. »	7,36
18. »	7,60
19. »	7,63
20. »	7,68
21. »	7,74
22. »	7,75
23. »	7,76
Der Versuch wurde bei 70 % relat. Feuchtigkeit fortgesetzt.	
	%
24. Juni	8,03
25. »	8,47
26. »	8,74
27. »	9,00
28. »	9,31
29. »	9,51
30. »	9,70
1. Juli	9,77
2. »	9,94
3. »	10,16
4. »	10,27
5. »	10,32
6. »	10,47
7. »	10,42
8. »	10,48
9. »	10,54
10. »	10,57
11. »	10,58
12. »	10,59
13. »	10,58
Der Versuch wurde bei 90 % relat. Feuchtigkeit fortgesetzt.	
	%
14. Juli	10,85
15. »	11,28
16. »	11,65
17. »	12,06
18. »	12,48
19. »	12,96
20. »	13,44
	%
21. Juli	13,94
22. »	14,28
23. »	14,56
24. »	14,95
25. »	15,24
26. »	15,27
27. »	15,36
28. »	15,44
29. »	15,49
30. »	15,55
31. »	15,59
1. August	15,63
2. »	15,67
Der Versuch wurde bei 100 % relat. Feuchtigkeit fortgesetzt.	
	%
3. August	16,11
4. »	16,49
5. »	16,75
6. »	16,93
7. »	17,09
8. »	17,29
9. »	17,50
10. »	17,71
11. »	17,83
12. »	17,85
13. »	17,89
14. »	17,90
15. »	17,96
16. »	18,02
Der Versuch wurde als beendet angesehen.	

Weitere Mittheilungen aus den täglich gemachten Beobachtungen wiederzugeben, möchte wohl zwecklos erscheinen, da solche einmal einen großen Ballast an Zahlen erforderlich machen und überdies keine weiteren

Schlüsse zulassen als die, welche an der Hand der schon gegebenen Tabellen abgeleitet werden konnten.

Bezüglich der Aufnahmsdauer bei Adsorption von Kohlensäure und Ammoniak können aus schon mitgetheilten Gründen nur spärliche Angaben gemacht werden. Die Art und Weise der Ammoniakdarstellung machte es nämlich erforderlich, daß der Aufnahmeprozeß verschiedene Male unterbrochen werden mußte. Allenfallsige Aufzeichnungen zur Illustration der Sättigungsdauer waren also als nicht vergleichlich werthlos und so mußte Verfasser auf die Mittheilung derselben auch von allem Anfange an verzichten. Es sei nur erwähnt, daß der Eintritt der Sättigung bei Ammoniak viel rascher erfolgte als unter denselben Bedingungen bei Wassergas, die Sättigungsdauer wuchs auch hier mit der Adsorptionsgröße und der Einfluß der Temperatur machte sich, soweit es die oberflächliche Beobachtung erkennen ließ, in der gleichen Richtung wie dort geltend. Die Aufnahme der Kohlensäure geschah noch rascher, jedenfalls bedingt durch die geringere Adsorptionsgröße.

Faßt man nunmehr, wie es bisher stets geschehen, auch die Resultate dieser Versuchsreihe in wenigen Sätzen zusammen, so sind dieselben:

1) Eine absolute Sättigung wird in keinem Falle erreicht, vielmehr läßt sich nur der Eintritt einer Periode, in welcher die Verdichtung unter eine gewisse niedrige Größe sinkt, als solche betrachten.
2) Es besteht ein Einfluß des Materiales auf die Aufnahmsdauer in dem Sinne, daß dieselbe um so größer wird, je größer die aufgenommene Gasmenge überhaupt ist.
3) Höhere Temperatur beschleunigt die Aufnahmsdauer.
4) Höherer Feuchtigkeitsgehalt der Luft verzögert dieselbe.
5) Die Aufnahme des Wassergases erfolgt langsamer als die der Gase Ammoniak und Kohlensäure.

Hiermit kann wohl der experimentelle Theil der Arbeit als abgeschlossen angesehen werden, wenn auch noch manche Frage ohne Antwort bleiben mußte, und es liegt dem Verfasser nur noch ob, in Kürze noch einmal alles das zusammenzufassen, was er als das Wesentlichste der ganzen Untersuchung betrachtet und was sich in der Breite derselben mehr und mehr verlieren mußte.

Schlußbetrachtung.

Die Adsorption im weitesten Sinne des Wortes bezeichnet eine molekulare Erscheinung, und umfaßt in diesem Sinne alle jene ursächlichen Momente, welche ein Zurückhalten von Gasmolekülen an und in festen Körpern bewerkstelligen. Nur dem Sprachgebrauche nach unterscheidet man zwischen Hygroskopizität und Gasadsorption (Adsorption im engeren Sinne), welche im Grunde identische Erscheinungen sind.

Bedingt wird das Zurückhalten von Gasmolekülen durch eine Reihe von Einzelvorgängen. Diese sind:

1) Oberflächenattraktion. Es bestehen an der Oberfläche aller festen Körper molekulare Kräfte, welche, der Adhäsion verwandt, sehr energisch auf die zunächstliegenden Gasmoleküle wirkend, dieselben fast momentan an die Oberfläche des festen Körpers bringen und hier zu einer dichten theilweise flüssigen, vielleicht auch festen Hülle zusammendrängen, bis eine Gleichgewichtslage herrscht, in welchem der Körper verharren würde, wenn nicht Aenderungen in seiner Umgebung oder in seiner Beschaffenheit eintreten. Dieser Prozeß erfolgt fast momentan und mit großer Energie, ja so energisch, daß anfänglich der ganze Adsorptionsprozeß diesem Vorgange allein zugeschrieben wurde. Er verursacht ebensowohl das anfängliche steile Aufsteigen der Adsorptionskurve, wie er auch den größten Theil der beobachteten frei werdenden Wärme liefert, und so den Anstoß zu einer Reihe von weiteren Prozessen giebt. Die Zahl der auf diese Weise festgehaltenen Moleküle hängt ab:

von der Substanz des Körpers und der des Gases;
von der Größe der Oberfläche;
von der Geschwindigkeit und Weglänge der Gasmoleküle.

2) Molekülinvasion. Die also angezogenen Gastheile dringen theils in Folge des hohen Druckes, unter welchem sie sich befinden, theils in Folge feinster Kapillaren in die Molekularzwischenräume des festen Körpers ein, und bieten so eine der Absorption von Gasen in Flüssigkeiten analoge Erscheinung. Der Prozeß erfolgt langsamer als der erstere, und ist erst beendet, wenn die Widerstände, welche sich dem vordrängenden Gasmoleküle entgegenstellen, nicht mehr überwunden werden können.

Wie oben ist die Zahl der zurückgehaltenen Moleküle abhängig von der Substanz des Gases und des Körpers. An die Stelle der Oberfläche

des letzteren tritt hier dessen Masse, und während oben auch die Geschwindigkeit der Moleküle die Anzahl derselben bestimmte, hat dieselbe hier nur einen Einfluß auf die Dauer des Prozesses.

3) Absorption. Bedingt durch die Oberflächenanziehung bildet sich sehr bald um die Oberfläche des festen Körpers eine feinste Flüssigkeitsschicht, welche nunmehr anderen Gasen zum Absorbens dient. Begünstigt von dem hohen Druck, unter welchem sie sich befindet (*Bunsen* berechnet Hunderte von Atmosphären), steigert sich ihre Fähigkeit, Gase zu absorbieren, bis zu Zahlen, welche unsere Vorstellung über derartige Vorgänge überbieten. Der Prozeß erstreckt sich, wie die *Bunsen*'schen Versuche darthun, bis zu seiner Beendigung über Jahre hinaus.

4) Chemische Reaktionen. Abgesehen von einfachen chemischen Bindungen, welche nicht eigentlich in das Gebiet der Gasadsorption gehören, regen sich nun zwischen den eingewanderten Gasmolekülen und den Molekülen des festen Körpers die verschiedentlichsten unter gewöhnlichen Verhältnissen großentheils unbekannten chemischen Thätigkeiten. Der hohe kapillare Druck zusammen mit der bei der anfänglichen Verdichtung recht bedeutenden Wärmeentwickelung führt dazu, Prozesse, welche die chemische Verwandtschaft allein nicht zu erzeugen vermochte, einzuleiten und dauernd zu erhalten. Allmählich und sehr langsam dringen die angezogenen Gastheile von der Oberfläche aus, alles um sich her chemisch umgestaltend, vor, und bilden so den Anfang zur Verwitterung des Körpers; ja es möchte scheinen, als ob die Verwitterung nicht nur die Folge dieses Prozesses als vielmehr die Adsorption in ihren endlichen Stadien selbst sei. Nur die ungeheure Schwerfälligkeit, mit welcher sich der Körper neuen Sättigungsmöglichkeiten anpaßt, läßt es nicht erkennen, ob die Verwitterung eines Körpers unter dem Einfluß eines bestimmten Gases oder Gasgemisches mit der völligen Sättigung dieses Körpers mit dem Gase oder Gasgemische zusammenfällt. Jedenfalls kann man sich den komplizirten und noch fast völlig unbekannten Chemismus der Verwitterung ohne die Mitwirkung dieser so intensiven molekularen Kräfte nicht wohl vorstellen.

Unter den genannten vier Einzelvorgängen sind es nun aber nur die beiden ersten, welche innerhalb der Versuchszeit außer Wirkung treten. Für den dritten kann nach den Beobachtungen *Bunsen*'s eine Beendigung erst nach vielen Jahren erwartet werden und den chemischen Thätig-

keiten im obigen Sinne ist ein Ende selbst nach diesen Zeiten nicht abzusehen.

So wäre also ein vollständiger Abschluß des Verdichtungsprozesses nicht ohne Weiteres zu erreichen, die Aufstellung von Gesetzmäßigkeiten über Abnahme und Zunahme der Adsorptionsgröße also ein Nonsens, denn diese letztere setzt ja einen Abschluß voraus. Wenn aber trotzdem derartige Gesetzmäßigkeiten ausgesprochen wurden, und wenn dieselben gerade hier noch einmal kurz zusammengefaßt werden sollen, so erklärt sich das aus Folgendem. Die Erscheinung in toto verläuft in ihren Anfangsstadien sehr energisch, nach und nach aber abnehmend, schließlich mit so geringer Intensität, daß eine dadurch bedingte tägliche Gewichtszunahme der Beobachtung entfällt. Es gelingt deshalb, den Vorgang in seinem ganzen Umfang zu trennen in einen der Beobachtung zunächst zugänglichen, den eigentlichen Verdichtungsprozeß, und einen durch Jahre hindurch mit ganz geringer Intensität wirkenden, vielleicht mit dem Verwitterungsprozeß identischen Theil, dem endlichen Verdichtungsprozeß.

Die nunmehr abgeschlossenen Untersuchungen befaßten sich in diesem Sinne nur mit dem eigentlichen Verdichtungsvorgang und so können sich auch die ausgesprochenen Gesetzmäßigkeiten niemals auf den Verdichtungsvorgang im vollsten Umfange beziehen.

Diese sind:

1) *Die Bodenkonstituenten besitzen alle ein nicht unbeträchtliches Adsorptionsvermögen; zur Beurtheilung des Maßes dieser Fähigkeit, sowie des verschiedenen Verhaltens der einzelnen Konstituenten kann die folgende Zusammenstellung dienen.*

Bei 0° adsorbiren:

	Wassergas (aus gesättigter Luft).		Ammoniak.		Kohlensäure.	
100 gr Quarz	0,159 gr	197 ccm[1]	0,107 gr	145 ccm[1]	0,023 gr	12 ccm[1]
„ „ Kaolin	2,558 „	3172 „	0,721 „	947 „	0,329 „	166 „
„ „ Humus	15,904 „	19722 „	18,452 „	24228 „	2,501 „	1264 „
„ „ $F_2(OH)_6$	15,512 „	19236 „	4,004 „	5275 „	6,975 „	3526 „
„ „ $CaCO_3$	0,224 „	278 „	0,256 „	320 „	0,028 „	14 „

[1]) *Reduzirt auf 0° und 760 mm.*

2) *Bodengemische wirken mit ihren einzelnen Bestandtheilen.*

3) *Das Adsorptionsvermögen nimmt für die gleiche Substanz zu mit der Feinheit ihrer Partikel.*

4) *Zwischen 0 und 30° C. nimmt die Adsorptionsgröße durchgehend mit zunehmender Temperatur ab.*

5) *Bei Entnahme des Wassergases aus damit gesättigter Luft wird diese Gesetzmäßigkeit nur dadurch modifizirt, daß mit der Temperatur zugleich der absolute Wassergehalt erhöht wird. Im letzteren Fall wird der Einfluß der Temperatur durch den steigenden Feuchtigkeitsgehalt nahezu ausgeglichen. Bleibt aber der absolute Wassergehalt der Luft auch bei schwelenden Temperaturen konstant, so zeigt sich ein gleicher Einfluß der Temperatur, wie er bei der Gasadsorption beobachtet wird.*

6) *Bei gleichbleibender Temperatur steigt die Hygroskopizitätsgröße mit dem relativen Luftfeuchtigkeitsgehalte.*

7) *Ist der Boden mehr als hygroskopisch angefeuchtet, so tritt an die Stelle der Adsorption die Absorption der Gase im Bodenwasser.*

8) *Steigende Temperatur beschleunigt den Verdichtungsprozeß.*

Neue Litteratur.

J. H. Gilbert. **Beobachtungen über Regenfall, Durchlässigkeit und Verdunstung.** (On rainfall, percolation and evaporation.) Proceedings of the institution of civil-engineers. Vol. CV. Session 1890—91. Part. III. London. 1891.

Im ersten Bande dieser Zeitschrift (S. 295) wurde über die Ergebnisse von Versuchen berichtet, welche Verf. über die Sickerwassermengen und die Verdunstung in den Erntejahren (1. September bis 31. August) 1870—75 angestellt hatte. Seit dieser Zeit wurden die Beobachtungen fortgesetzt, derart, daß in vorliegender Publikation die Resultate für eine 20jährige Versuchsdauer mitgetheilt werden können.

In Bezug auf die Versuchsanordnung sei Folgendes bemerkt. Der Boden, strenger Lehm mit Thon im Untergrunde, blieb in seinem natürlichen Zustande, indem man dort, wo die Messungen vorgenommen werden sollten, eine Fläche von $^1/_{1000}$ Acre (4,047 □m) in Quadratform bis zu der gewählten Tiefe durch vertikale, stark zementirte Mauern abgrenzte und den Boden unterminirte. Unter dem Erdreich wurde eine durchlöcherte Platte, welche an das Mauerwerk dicht angeschlossen wurde, und darunter ein großer Zinktrichter von entsprechender Größe angebracht. Das in letzteren absickernde Wasser wurde in Auffanggefäße geleitet, welche sich in seitlich gelegenen, durch Mauerwerk hergestellten Gruben befanden. Es wurden 3 solche, sogen. Lysimeter verwendet und zwar von 20, 40 und 60 Zoll (engl.[1]) Tiefe. Zur Regenmessung wurde ein kleiner Regenmesser von 5 Zoll Durchmesser, sowie ein großer mit einer Auffangfläche von $^1/_{1000}$ Acre verwendet.

Die Oberfläche des Bodens blieb nackt während der ganzen Versuchsdauer.

Die Verdunstung wurde aus der Differenz zwischen den atmosphärischen Niederschlägen und den Sickerwassermengen berechnet.

Folgende Tabellen enthalten die Jahresmittel und die Monatsmittel im 20-jährigen Durchschnitt, sowie die Mittel von je 10 Jahren:

---

[1]) 1 engl. Zoll = 2,54 cm.

20jährige Beobachtungen. Erntejahre: 1. September bis 31. August.

Jahr.	Regenmenge (Zoll).		Sickerwassermenge (Zoll).			Verdunstungsmenge[1]) (Zoll).		
	Regenmesser von 5 Zoll Durchmesser.	Regenmesser von 1/1000 Acre Fläche.	In 20 Zoll Tiefe.	In 40 Zoll Tiefe.	In 60 Zoll Tiefe.	Bodenschicht von 20 Zoll.	Bodenschicht von 40 Zoll.	Bodenschicht von 60 Zoll.
1870–71	26,49	27,55	9,64	9,42	5,81	17,91	18,13	21,74
1871–72	27,83	29,02	9,69	9,39	8,24	19,33	19,63	20,78
1872–73	28,99	30,66	14,35	13,67	12,03	16,31	16,99	18,63
1873–74	20,29	21,69	5,74	5,40	3,94	15,95	16,29	17,75
1874–75	27,87	31,61	12,25	12,72	10,30	19,36	18,89	21,31
1875–76	28,83	31,98	14,75	16,87	15,46	17,23	15,11	16,52
1876–77	37,73	39,28	19,63	22,07	20,20	19,65	17,21	19,08
1877–78	32,11	32,65	14,72	16,44	14,84	17,93	16,21	17,81
1878–79	40,17	41,05	24,44	26,03	24,38	16,61	15,02	16,67
1879–80	20,88	21,36	6,89	7,39	6,50	14,47	13,97	14,86
1880–81	35,85	36,77	22,38	22,84	21,26	14,39	13,93	15,51
1881–82	31,66	32,31	15,81	16,08	14,32	16,50	16,23	17,99
1882–83	33,69	34,71	20,82	21,72	19,72	13,89	12,99	14,99
1883–84	25,29	25,77	11,86	12,00	11,21	13,91	13,77	14,56
1884–85	25,90	26,78	14,82	15,14	13,98	11,96	11,64	12,80
1885–86	29,46	31,02	17,37	18,41	16,57	13,65	12,61	14,45
1886–87	22,63	23,61	10,64	12,58	11,72	12,97	11,03	11,89
1887–88	29,11	30,50	13,96	15,58	14,67	16,54	14,92	15,83
1888–89	28,79	30,09	14,64	15,82	14,33	15,45	14,27	15,76
1889–90	26,73	27,43	13,16	13,60	12,74	14,27	13,83	14,69
Mittel	29,02	30,29	14,38	15,16	13,61	15,91	15,13	16,68

Jährliche Mittel für 10jährige Perioden.

1870/71–1879/80	29,12	30,68	13,21	13,94	12,17	17,47	16,74	18,51
1880/81–1889/90	28,91	29,91	15,54	16,38	15,05	14,37	13,53	14,86
1870/71–1889/90	29,02	30,29	14,38	15,16	13,61	15,91	15,13	16,68

In Prozenten des Niederschlags.

1870/71–1879/80	—	—	43,1	45,4	39,7	56,9	54,6	60,3
1880/81–1889/90	—	—	52,0	54,8	50,3	48,0	45,2	49,7
1870/71–1889/90	—	—	47,5	50,0	44,9	52,5	50,0	55,1

[1]) Berechnet nach den Angaben des Regenmessers von 1/1000 Acre Auffangfläche.

Monatsmittel, berechnet aus den 20jährigen Beobachtungen.

Monat.	Regenmenge (Zoll).		Sickerwassermenge (Zoll).			Verdunstungsmenge (Zoll).		
	Regenmesser von 5 Zoll Durchmesser.	Regenmesser von 1/1000 Acre Fläche.	In 20 Zoll Tiefe.	In 40 Zoll Tiefe.	In 60 Zoll Tiefe.	Bodenschicht von 20 Zoll.	Bodenschicht von 40 Zoll.	Bodenschicht von 60 Zoll.
September . .	2,74	2,86	0,96	0,85	0,75	1,90	2,01	2,11
Oktober	3,07	3,20	1,78	1,74	1,50	1,42	1,46	1,70
November . . .	2,92	3,03	2,24	2,30	2,05	0,79	0,73	0,98
Dezember . . .	2,31	2,42	1,90	2,02	1,81	0,52	0,40	0,61
Januar	2,34	2,51	1,96	2,25	2,06	0,55	0,26	0,45
Februar . . .	1,92	2,04	1,44	1,59	1,44	0,60	0,45	0,60
März	1,61	1,74	0,80	0,95	0,86	0,94	0,79	0,88
April	2,12	2,21	0,67	0,74	0,68	1,54	1,47	1,53
Mai	2,22	2,28	0,60	0,68	0,59	1,68	1,60	1,69
Juni	2,45	2,52	0,63	0,64	0,60	1,89	1,88	1,92
Juli	2,96	3,03	0,84	0,85	0,77	2,19	2,18	2,26
August	2,36	2,45	0,56	0,55	0,50	1,89	1,90	1,95
Summa	29,02	30,29	14,38	15,16	13,61	15,91	15,13	16,68

Vergleicht man die aus verschieden tiefen Bodenschichten abgesickerten Wassermengen, so ergiebt sich, daß zwar durch die 40 Zoll mächtige Ackerkrume etwas mehr, durch die 60 Zoll starke etwas weniger Wasser abgeflossen war, daß aber diese Unterschiede nicht bedeutend sind[1]). Letztere dürften auf Ungleichheiten im Untergrund des Rothamsteder Bodens zurückzuführen sein. Bemerkenswerth ist die Erscheinung, daß die Sickerwassermengen in den letzten 10 Jahren etwas größer waren als in den ersten, obwohl die Niederschlagsmengen in jenen etwas niedriger waren als in diesen.

Die Drainwassermengen schwankten innerhalb weiter Grenzen (4—26 Zoll) und zeigten sich weniger abhängig von der Niederschlagsgröße als vielmehr und zwar in bedeutendem Grade von der Vertheilung der Niederschläge. Sie waren in denjenigen Fällen am größten, wo während der winterlichen Periode die Niederschläge reichlich waren, weil in dieser Zeit die Verdunstung wesentlich vermindert ist. (Hierdurch läßt sich auch wohl die Thatsache erklären, daß in den letzten 10 Jahren die Drainwassermenge größer war als in den ersten, weil in jenem Zeitabschnitt die Zahl der niederschlagsreichen Winter eine vergleichsweise größere war. D. Ref.) Aus demselben Grunde war die unterirdische Wasserabfuhr während der Monate Oktober bis Februar ungleich ergiebiger als während der übrigen Jahreszeit[2]). Das Minimum wurde im Durchschnitt im August beobachtet. In eiuigen Jahren fiel dasselbe auf einen früheren oder späteren Monat.

[1]) Vergl. diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 40.
[2]) Vergl. diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 59.

Im Mittel betrug die Drainwassermenge 14 Zoll. Dieser Werth läßt sich natürlich nicht ohne Weiteres zur Beurtheilung der Verhältnisse in der Natur benutzen, weil die Versuche mit einem vegetationslosen Boden angestellt wurden. Nach *Lawes* beträgt die durch die Vegetation bedingte Verdunstungsmenge je nach dem Grade der Bodenbedeckung und der Entwickelung der Pflanzen 2 bis 7 Zoll. Nimmt man eine größere Fläche in der Umgebung von London an, die theils mit Pflanzen bedeckt, theils nackt ist, so würden etwa 3—4 Zoll auf die Verdunstung seitens der Pflanzen entfallen. Somit würde bei einem Niederschlag von 30 Zoll für die dortige Gegend 19—20 Zoll für die Verdunstung und 10—11 Zoll für die Drainage in Anrechnung zu bringen sein. *E. W.*

***F. H. King*. Ueber das Wasser im Boden.** Seventh annual report of the agric. exper. stat. of the Univers. of Wisconsin. For the year ending June 30. 1890. p. 134—162. — *Biedermann*'s Zentralblatt für Agrikulturchemie. 1891. Heft XI. S. 721.

Die Vertheilung des Wassers in dem Boden ändert sich mitunter recht rasch, indem eine Erdschicht auf Kosten einer angrenzenden an Wasser zunimmt. Diese neue Vertheilung des Wassers benennt Verf. Translokation oder Versetzung. Sie kommt auf mindestens zweierlei Art zu Stande: durch Aenderung der Porosität einer Bodenschicht und Aenderung des Wassergehaltes. So zieht Walzen der Bodenoberfläche das Wasser von Unten nach Oben. Regen verursacht gleicherweise Translokation des Wassers, denn nach Beobachtungen schien es dem Verf., als nähme der Wassergehalt des Untergrundes ab, wenn die Oberfläche naß geworden war. In diesem Falle handelte es sich um einen Lehmboden mit Sanduntergrund. Die Beobachtungen führen zu einigen praktischen Folgerungen in Betreff der Bearbeitung dieser Bodenklasse.

Bearbeitung nach Regen: Nach starkem Regen sollte alsbald die Bodenoberfläche umgestochen werden, falls sie nicht zu naß und die Bearbeitung dadurch erschwert ist. Diese Bearbeitung sollte in der Regel oberflächlich sein, so daß eine dünne Schicht fein zerkrümelt und ganz außer Zusammenhang mit der darunter liegenden Schicht gebracht wird. Geschieht das nicht, so wird, falls auf den Regen heißes klares Wetter folgt, nicht nur die gefallene Regenmenge rasch verdunstet, sondern auch ein Theil desjenigen Wassers, das erst in Folge des Regens aus unteren Schichten nach der Oberfläche gezogen worden ist. Der Boden ist dann im Ganzen wirklich trockener, als er vor dem Regen war.

Bewässern umgepflanzter Bäume: Folgt dem Umpflanzen trockene Witterung, so wird einfaches Begießen der Oberfläche des Bodens mancherorten mehr schaden, als nützen, weil die tiefer liegenden Wurzeln nicht nur kein Wasser erhalten, sondern weil auch noch die Feuchtigkeit aus dem sie umgebenden Erdreich nach Oben gezogen wird. Wird dagegen die Oberfläche rings um den Baum vor dem Bewässern tief umgestochen, so wird die das Wasser nach Oben hebende Kraft auf ein Minimum beschränkt, und das aufgegossene Wasser wird durch die Schwerkraft bis zu den Wurzeln herabsinken.

Kapillare Bewegung des Wassers im Ackerboden in natürlicher Lagerung. Verf. setzte frühere Beobachtungen fort und fand, daß sich das

Wasser langsam von feuchteren nach trockeneren Stellen hinzuziehen vermag, sowohl in der Richtung von Unten nach Oben, als von Oben nach Unten, ferner in seitlicher Richtung. In seitlicher Richtung bewegte sich das Wasser in dem Lehmboden nur etwa 0,9 m weit.

Kapillare Bewegung des Wassers in nassen Ackerböden. Am 6. Juli 1890 wurden 32 Stunden nach einem 4tägigen Regenfall von 80 mm Höhe (oder 7,8 kg Wasser auf 1 engl. Quadratfuß) Bodenproben an 8 verschiedenen Oertlichkeiten entnommen und ihr Wassergehalt bestimmt. 72 Stunden später wurden wieder Proben genommen. Ihr Wassergehalt ließ schließen, daß sich der Gehalt während dreier Tage zwischen 0,7 und 2 kg in 1 engl. Kubikfuß in der obersten, 1 Fuß tiefen Bodenschicht und zwischen 0,24 und 1,24 kg pro 1 Kubikfuß in der folgenden, 1 Fuß tiefen Schicht bewegt hatte. Diese raschen Schwankungen bilden keine Ausnahme, sondern mögen sich bis 0,9 m tief und weiter erstrecken.

Die kapillare Bewegung des Wassers im Lehmboden wurde, wie Versuche im Laboratorium ergaben, um so schwächer, je weiter sich der Grundwasserspiegel von der Oberfläche entfernte. Verf. bestimmte auch die wasserhaltende Kraft einiger Arten Ackerböden in ihrer natürlichen Lagerung und fand sie im Maximum für schwarzen Marschboden zu 34,71, für Ziegellehm zu 31,81, für Thon- und Lehmboden zu 33,19 und 28,88 Prozent. Das sind Zahlen, welche von den in der Litteratur zu findenden sehr abweichen. In besonderen Versuchen erwies Verf. die stark austrocknende Wirkung der Vegetation auf den Ackerboden.

Schließlich wird ein Bohrer beschrieben, mit dem Verf. die Proben entnahm, und der gestattete, eine Säule auszuheben, die geringeren Durchmesser besaß, als das Instrument innen hatte, und ein Loch zu bohren, das größeren Durchmesser als der Bohrer selbst besaß.

F. H. King. **Investigations relating to Soil Moisture.** Extracted from the eighth annual report of the Wisconsin Agricultural Experiment Station.

II. Physik der Pflanze.

Untersuchungen über die Bewurzelung der Kulturpflanzen in physiologischer und kultureller Beziehung.

Von Professor Dr. C. Kraus,
Direktor der k. landwirthschaftlichen Zentralschule Weihenstephan.

Erste Mittheilung:

Das Akkommodationsvermögen des Wurzelsystems der Ackerbohne und des Hafers an die mechanischen Bedingungen des Wurzelverlaufs. — Die Beziehungen der Wurzeltypen der genannten Pflanzen zur Nahrungsvertheilung im Boden.

I. Die Anpassung an die mechanischen Bedingungen des Wurzelverlaufs.

Der normale Wurzeltypus erleidet im Erdboden mancherlei Abänderungen je nach Beschaffenheit und Wirkungsrichtung der mechanischen Widerstände, unter Umständen kann er bis zur völligen Unkenntlichkeit modifizirt werden. Offenbar ist es eine der Verbreitung und Ansiedelung der verschiedenen Pflanzenarten höcht nützliche Eigenschaft, auf die mechanischen Widerstände des Bodens durch Abänderungen der typischen Bewurzelung entsprechend zu reagiren, indem hieraus die bestmögliche Ausnutzung des den Wurzeln zugänglichen Bodenraums hervorgehen kann.

Da die Bewurzelungstypen bei den Kulturgewächsen sehr verschieden sind, voraussichtlich auch die Reaktionen, welche am Wurzelsystem bei verschiedenen mechanischen Widerständen zum Vorschein kommen, erwächst die Aufgabe, den Differenzen im Verhalten der verschiedenen Kulturgewächse in der gedachten Beziehung nachzuforschen, um hiernach z. B. die Anforderungen der Gewächse an die Krumentiefe unter verschiedenen Verhältnissen, den Einfluß der Tiefe der Bodenlockerung und anderer, für den Anbau der Gewächse wichtiger Umstände auch von dieser Seite voll würdigen zu können.

An diese Frage schließt sich eine zweite an, nämlich ob solche, durch mechanische Einflüsse bewirkte Abänderungen des normalen Wurzeltypus, die Verhinderung der freien Entfaltung des normalen Wurzelgestaltungstriebes, an sich, ganz abgelöst von aus solchen Abänderungen sich etwa ergebenden Ernährungsbeeinträchtigungen oder sonstigen Benachtheiligungen, der besten Entwickelung und vollkommensten Ausgestaltung der Pflanzen von Nachtheil und ob die am Wurzelsystem sich äußernden Reaktionen im Stande sind, einen Ausgleich herbeizuführen.

Nach den neueren physiologischen Forschungen müssen die Glieder eines Pflanzenkörpers als mit einander in gewissen inneren Wechselbeziehungen oder Korrelationen stehend angesehen werden, so daß diese Beziehungen für den Grad, zum Theil auch für die Art der Entwickelung, die Richtung des Wachsthums, die physiologischen Eigenschaften der Glieder von großer Bedeutung sind. Hiernach ist es aber wahrscheinlich, daß solche Beziehungen auch zwischen dem Wurzelsystem und der Entfaltung der oberirdischen Theile vorhanden sind. Diese Beziehungen könnten sich erstrecken sowohl auf die Reichlichkeit der Bewurzelung wie auf die spezifische (typische) Ausbildung desselben, so daß die Gesetzmäßigkeit der typischen Entwickelung des Pflanzenkörpers in allen seinen Theilen dadurch bedingt wäre, daß auch der normale Wurzeltypus zur normalen Ausbildung gelangte.

Was die Reichlichkeit der Bewurzelung betrifft, so nützt sie ohne Zweifel ganz besonders durch die reichliche Nahrungsversorgung, verschiedene Erscheinungen deuten aber darauf hin, daß unabhängig von der Funktion der Nahrungsaufnahme die Wurzeln einen auf inneren Ursachen beruhenden, fördernden Einfluß auf das Wachsthum der oberirdischen Theile ausüben. Referent faßt in dieser Weise folgende Vorkommnisse auf.

Werden Kartoffelknollen auf feuchtem Sand und unter Glasglocken liegend an einem hellen Fenster aufbewahrt, so entwickeln sich in Monaten nur ganz kurze, ihre Blätter nicht entfaltende Keime, ähnlich jenen, welche aus in trockner Luft und im Licht befindlichen Knollen austreiben, während sich im Finstern bekanntlich oft sehr lange etiolirte Sprosse entwickeln. Wurde (in den Versuchen des Referenten[1]) so verfahren, daß

[1]) *C. Kraus.* Berichte der deutschen botan. Ges. III. (1885.) S. 182 und 388. Diese Zeitschrift. Bd. IX. S. 78.

die Keime Gelegenheit hatten, Wurzeln in den feuchten Sand zu treiben, während die Triebe nach wie vor stark beleuchtet waren, so entwickelten sie sich zu starken, normalen Sprossen. Warum wachsen die unbewurzelten Lichtkeime nicht? Um Mangel an Wachsthumsstoffen kann es sich nicht handeln, denn die Dunkelkeime treiben auch ohne Wurzeln und ohne Wasserzufuhr zu den Knollen lange Sprosse, wenn auch deren Wachsthum bei Vorhandensein von Wurzeln gefördert ist. Wassermangel kann ebenfalls nicht die Ursache sein, da auch im mit Feuchtigkeit gesättigten Raume, und wenn die Knollen bis zur Basis der Triebe oder letztere selbst mit dem unteren Ende in Wasser tauchen, das Wachsthum mangelhaft bleibt. Die Entwickelung von Wurzeln ist die unerläßliche Voraussetzung der Entfaltung normaler Triebe bei Einwirkung stärkerer Beleuchtung.

In der Keimung begriffene Ackerbohnen wurden zum Theil der Pfahlwurzel gleich nach dem Hervorbrechen beraubt[1]), in dieser Weise präparirte Keimlinge neben unverletzten in feuchte Sägspäne ausgelegt. Die der Pfahlwurzel beraubten Keimlinge entwickelten allmählich kräftige Adventivwurzeln, sie blieben aber im Höhenwachsthum beträchtlich zurück. Nach 10 Tagen maßen im Durchschnitt die Stengel der

	Lichtkeimlinge		Dunkelkeimlinge	
	mit Pfahlwurzel	ohne Pfahlwurzel	mit Pfahlwurzel	ohne Pfahlwurzel
mm	102,5	68,5	92,2	81,5.

Obwohl reichliche Wasserversorgung bestand, auch an Wachsthumsstoffen kein Mangel, deren Zufuhr zum Stengel bei den Keimlingen mit Pfahlwurzel wegen des starken Verbrauchs durch die letztere eher kleiner war, waren dennoch die der Pfahlwurzel beraubten Pflanzen stark im Wachsthum zurückgehalten, wenigstens im Lichte, während im Dunkeln ihr Wachsthum wenig hinter den Pfahlwurzelpflanzen zurückblieb. Das Verhalten dieser Bohnen war analog dem der Kartoffelkeime, wenn auch in weniger extremem Maße. Die normale Entwickelung erforderte, daß erst das Wurzelvermögen einen gewissen Grad der Entwickelung erlangt hatte, ehe das Stengelwachsthum kräftiger wurde, was jedenfalls eine zweckmäßige Anpassung ist, wie bekanntlich überhaupt die Pflanzen zuerst ihre Wurzeln gehörig auszubilden bestrebt sind. Beim Wachsthum

[1]) *C. Kraus.* Diese Zeitschrift. Bd. II. (1878.) S. 182.

im Dunkeln ist das normale Verhältniß zwischen Wurzel- und Stengelentwickelung verschoben.

Aehnliche Erscheinungen beobachtete *J. Böhm*[1]) hinsichtlich des Zusammenhanges der Wurzel- und Blattentwickelung bei Keimpflanzen der Feuerbohne.

Diese Vorkommnisse machen es höchst wahrscheinlich, daß in Anpassung an die Vegetationsbedingungen ein innerer Zusammenhang zwischen der Wurzel- und Stengelentfaltung besteht, so daß erst bei genügender Entfaltung der ersteren die der letzteren sozusagen ausgelöst wird.

Das Gesagte bezieht sich zunächst auf das Vorhandensein der Wurzeln überhaupt. Was weiter den allenfallsigen Einfluß der spezifischen Ausbildung des Wurzeltypus betrifft, so sind solche Fälle bemerkenswerth, aus denen hervorgeht, daß wenigstens gewisse Pflanzenarten ein energisches Bestreben haben, mechanischen Beeinflussungen entgegen ihren Wurzeltypus zu behaupten, eventuell zu regeneriren. Derartiges beobachtet man bei Betarüben, welche mit gekrümmter Wurzel eingepflanzt werden[2]). Beim Verpflanzen von Bäumen muß sehr darauf Rücksicht genommen werden, daß die Wurzeln in ihrer ursprünglichen Richtung und Lage in die Erde kommen, sie laufen sonst Gefahr, zu verkümmern und abzusterben, der Baum kümmert, bis er eine genügende Menge neuer Wurzeln in der natürlichen Verbreitungsrichtung produzirt hat.

Die Obstbaumkultur zieht aus ihren Erfahrungen den Schluß, daß Beziehungen bestehen zwischen der Form der Bewurzelung und dem oberirdischen Wachsthum, daß deshalb Aenderungen der Bewurzelungsform von Einfluß auf das oberirdische Wachsthum sich erweisen. Aus verschiedenen Quellen sei hierüber Folgendes zitirt.

«Die Bewurzelung der Sämlinge ist verschieden hinsichtlich des Winkels, welchen die Seitenwurzeln mit der Pfahlwurzel bilden. Diesen Auslaufswinkel behalten sie während ihres Lebens bei. Hochaufstrebende Bäume (mit Ausnahmen) besitzen oft eine tiefgehende Bewurzelung, während breitkronige Sorten weniger tief wurzeln. Der Wurzelstock der Obststräucher hat selten starke, tiefgehende Wurzeln, dafür sehr feine,

---

[1]) Bot. Zeitschr. 1877. Nr. 3.

[2]) *C. Kraus.* Das Wurzelsystem der Runkelrüben etc. Diese Zeitschrift. Bd. XI. S. 358.

dicht beisammen liegende, sich meist oberflächlich horizontal hinziehend. Der Baum hat dagegen stärkere, tiefer gehende Wurzeln.»

«Man erhält durch öfteres Beschneiden der Wurzeln (mit öfterem Versetzen) bei Wildlingen eine fast ebenso zahlreiche Menge von Faserwurzeln, wie sie am Paradiesapfel, Doucin und an der Quitte zu finden sind. Diese sind aber gerade als Hauptursache des gedrungenen Wuchses und der frühen Tragbarkeit der auf sie veredelten Aepfel- und Birnsorten zu betrachten.» Der kanadische Apfel, ein kriechender Strauch, wird durch Pfropfen auf den Pflaumenbaum zum aufrechtstehenden Baum, ebenso Cytisus sessilifolius auf Goldregen, Cerasus chamaecerasus auf Sauerkirsche. Spanischer Flieder, auf Eschen geimpft, wird baumartig u. s. w.[1]).

«Es hat seinen Vortheil, durch öfteres Versetzen und Stutzen die Wurzeln zu zwingen, mehr in der Oberfläche der Erde sich zu verästeln und fortzukriechen. Aber die Entfernung der in die Tiefe gehenden Wurzeln wird immer dazu beitragen, daß unsere Obstbäume ihre volle Größe nicht erreichen. Durch das öftere Versetzen werden die Wildlinge mehr geeignet zur Unterlage für Zwergstämme; um großwerdende Stämme zu erhalten, nimmt man solche junge Bäume, welche nicht zu viel Faserwurzeln, sondern einige starke, tief in den Boden hineingreifende Wurzeln haben.»

«Man beobachtet oft, daß auf Quitten veredelte Birnstämmchen, mit der Veredelungsstelle in die Erde gebracht, leicht flache Wurzeln aus dem Edelstamm treiben, ähnlich bei auf Paradiesapfel veredelten Apfelbäumen. Der jetzt selbst bewurzelte Edling treibt kräftig und hört auf, ein Zwerg zu sein.»

Umgekehrt wird bei jüngeren und älteren Bäumen der Trieb verkürzt, die Fruchtbarkeit erhöht, wenn durch Herstellung von Gräben, welche in gewissen Abständen kreisförmig um den Baum gezogen sind, die nach auswärts laufenden stärkeren Wurzeln sämmtlich abgestoßen werden. Im Umkreise des Baumes entsteht eine reiche Menge von Faserwurzeln, der oberirdische Trieb läßt aber bedeutend nach, auch wenn die genannte Operation mit reichlicher Düngung verbunden wird.

---

[1]) *De Candolle*'s Pflanzenphysiologie. Bd. II. S. 536.

Die Erfahrungen der Obstbaumkultur faßt *Vöchting*[1]) folgendermaßen zusammen: «An einem unter normalen Bedingungen und ungestört wachsenden Baume stehen alle Organe unter einander in einem bestimmten Verhältnisse. Einer gewissen Zahl von Blättern entspricht eine bestimmte Summe von Zweigen und Aesten. Diese entspringen einem Stamme von proportionaler Dicke, und dieser ruht endlich auf einer Hauptwurzel, die einer proportionalen Zahl von Seitenwurzeln den Ursprung giebt. Zwischen allen diesen Theilen besteht unter normalen Verhältnissen ein Gleichgewichtszustand, der verschieden ist je nach der spezifischen Natur des Baumes. Die Ursachen, welche diesem Verhältnisse zu Grunde liegen, sind verschiedener Art. Offenbar ist zunächst eine rein mechanische vorhanden. Mit zunehmender Größe der Baumkrone müssen auch die Mittel wachsen, welche ihr im Boden die nöthige Festigkeit verleihen. Je größer die Fläche ist, welche der Baum über der Erde den äußeren Einflüssen darbietet, um so länger, stärker und zahlreicher müssen auch die Wurzeln im Boden sein. Als zweite Ursache läßt sich ein ernährungsphysiologisches Moment anführen. Um einer mächtigen Baumkrone mit ihrem Blätterreichthum das nöthige Wasser zuzuführen, bedarf es eines über ein weites Areal vertheilten Wurzelgeflechts; und umgekehrt, um das Wachsthum des letzteren zu ermöglichen, ist eine umfangreiche, assimilirende Blättermasse erforderlich. Als dritte Ursache kommt unzweifelhaft ein innerer Faktor, eine Korrelation, in Betracht. Strikte erweisen lassen sich allerdings die Ursachen, welche die Korrelation bedingen, am Baum aus dem einfachen Grunde nicht, weil jeder Eingriff in das System auch Ernährungsstörungen hervorruft.» Der Verfasser verweist auf das Wachsthum der Topfobstbäume, welches zu der Vermuthung führe, daß zwischen den Langzweigen und den langen Triebwurzeln einerseits, zwischen den Kurzzweigen und den feineren und kurzen Faserwurzeln andererseits ein Korrelationsverhältniß bestehe. Er erwähnt ferner der Folgen des Beschneidens der Wurzeln, welches angewandt wird, um die Bäume zu besserem oder früherem Fruchttragen zu bringen. Wird so das Wachsthum der Triebwurzeln gehemmt und dafür eine reiche Menge von Faserwurzeln hervorgerufen, so ist auch gleichzeitig die Entwickelung der Langzweige eine beschränkte. Sobald der Operation zu-

[1]) *Vöchting*. Ueber Organbildung im Pflanzenreich. 1884. (Abschnitt über Symmetrie im Wachsthum des Wurzel- und Zweigsystems.)

fällig eine kräftige Wurzel entgeht, entsteht an der Laubkrone über ihr ein entsprechend entwickelter Langzweig.

Hiezu ist Folgendes zu bemerken. Bei dem Zusammenhang zwischen der Form der Bewurzelung und dem oberirdischen Wachsthum scheint es sich nur um das Verhältniß zwischen Trieb- und Faserwurzeln zu handeln, d. h. Aenderungen in dem normalen oberirdischen Wachsthum scheinen bloß dann einzutreten, wenn die Aenderungen des Wurzeltypus zu einer Aenderung des Verhältnisses stärker und schwächer wachsender Wurzeln führen, während sonstige Abänderungen des Wurzeltypus ohne Belang sind, ja es vielfach zum besten Gedeihen der Pflanzen führt, wenn gewisse Abänderungen des Wurzelsystems durch natürliche oder künstliche Einwirkungen hervorgerufen werden. Man findet nicht selten Holzäpfel- und Holzbirnbäume von kräftigstem Wachsthum auf ganz seichtem Boden, der die Wurzeln zu seichtem und horizontalem Verlaufe nöthigt. Man verhindert oft absichtlich und mit bestem Erfolg für das Wachsthum bei gewissen Bodenverhältnissen das Vordringen der Wurzeln in die Tiefe, indem man unter die Wurzeln Steinplatten oder sonstige Hindernisse legt und dadurch seitliche Wurzelverbreitung erzwingt. Wenn das mit Zurückschneiden der Wurzeln verbundene Versetzen der Wildlinge nicht zu oft wiederholt wird, so daß die Menge der Triebwurzeln nicht zu sehr abnimmt, ist es eine für das oberirdische, auch Höhenwachsthum durch die erzielte Wurzelvermehrung und -Verbreitung in den oberen, nährreicheren Bodenschichten höchst förderliche Operation, auch wenn hierbei der ursprüngliche Wurzeltypus wesentlich abgeändert wurde. Zum nämlichen Zweck der Wurzelvermehrung werden häufig auch andere Pflanzen, z. B. Gemüsepflanzen, verstopft; die verstopften werden kräftiger, wurzelreicher und dadurch in der Ernährung gefördert, soweit nicht überdies die Vermehrung der Wurzeln an sich auf korrelativem Wege die oberirdische Entwickelung befördert.

Obige Bemerkungen bezüglich Umgestaltung des Wurzeltypus beziehen sich zunächst auf tiefwurzelnde Bäume. Lassen sich diese unter gewissen Voraussetzungen ohne Nachtheil für das oberirdische Wachsthum in seicht wurzelnde umwandeln, so scheinen dagegen die von Natur aus seicht wurzelnden nur wenig abänderungsfähig zu sein. Man hat z. B. beobachtet, daß am Rande gepflasterter oder chaussirter Straßen, neben dem Straßengraben, gepflanzte Apfelbäume armselig gedeihen, während

Birnbäume auf gleicher Stelle sehr gut fortkamen. «Der Apfelbaum hat flache und oberflächlich verlaufende Wurzeln. In dem Bestreben, diese auszubilden, wird er an gepflasterten Straßen gehindert, während auf der Grabenseite ebenfalls ein Verbreitungshinderniß gegeben ist. Der Birnbaum dagegen geht mit seinen Wurzeln in die Tiefe, weshalb er auf solchem Standorte gut gedeiht». Sehr belehrend war das Verhalten der seicht wurzelnden Fichten dargestellt auf der Wiener land- und forstwirthschaftlichen Ausstellung 1890 von Forstrath *Reuß*. Werden die Fichten in flache, der Wurzelbildung des Pflänzlings entsprechende Pflanzgruben gesetzt, so gedeihen sie vortrefflich, die Anfangswurzeln bleiben erhalten, wenn nur vermieden wird, ihre Enden in die Tiefe zu bringen. Werden aber die anfänglichen Wurzeln unnatürlich in die Erde gebracht, so verkümmern sie, während dafür sekundäre Wurzeln sich kräftig entwickeln und horizontal verbreiten. Ebenso wird, wenn die Pflanzung zu tief geschieht, das untere Wurzelsystem aufgegeben und dafür ein oberes erzeugt. Das geotropische Verhalten der Wurzeln ist verschieden und es ist nur in besonderen Fällen möglich, eine Wurzel, welche horizontal zu wachsen strebt, zu vertikalem Wachsthum zu veranlassen, während umgekehrt ganz wohl eine energisch positiv geotropische Wurzel durch Hindernisse zu horizontaler Richtung gebracht werden kann. Eigenthümlich ist aber noch, daß die horizontalen Wurzeln auch eine gewisse geringste Bodentiefe beanspruchen, unterhalb deren sie existenzunfähig sind.

Wichtiges Material zur vorwürfigen Frage enthalten die Werke von *Duhamel du Monceau*[1]). «Die Sträucher haben niemals ebenso dicke und lange Wurzeln wie die großen Bäume. Umgekehrt produziren Bäume, welche ihrer Natur nach viel in Wurzeln treiben, wie die Ulme, davon nur wenig, wenn man sie in niederen Palissaden oder Köpfe schneidet; ein Birnbaum, der durch den Schnitt zum Busch oder Spalierbaum gebildet ist, giebt nicht so viel Wurzeln, wie wenn man ihn frei wachsen läßt.» [2])

«Wir haben gesagt, daß eine derartige Abhängigkeit zwischen Wurzeln und Zweigen ist, daß die Bäume um so mehr in Zweige treiben, je mehr

[1]) La Physique des arbres (1758) und besonders Des semis et plantations des arbres (1760).

[2]) La Phys. L. II. S. 108.

sie Wurzeln haben und umgekehrt. Aber es giebt Autoren, welche glauben, daß der Stamm sich um so mehr erhebe, je mehr die Pfahlwurzel sich in die Erde eingrabe, und daß ein Baum, welchem man die Pfahlwurzel gestutzt hat, weniger in die Höhe wächst als derjenige, welchem sie erhalten bleibt. Wenn man sich aber erinnert, daß, wenn ein Baum mehrere Wurzellagen hat, die höchste am meisten Kraft hat, während die tiefer eingewurzelten schwächer sind, wird man zugeben, daß die Wurzeln, welche von der Pfahlwurzel ausgehen, sehr schwach sein werden im Vergleich mit denen, welche vom Wurzelhals ausgehen. Es werden wenig Saugorgane vorhanden sein an den von der unteren Partie der Pfahlwurzel ausgehenden Wurzeln und diese Wurzeln, welche sich wenig ausbreiten und nicht in neue Erde vordringen, werden wenig reichlich Saft aufnehmen können. Wir haben eine lange Allee von Ulmen gepflanzt, welche keine Pfahlwurzel haben, aber trotzdem vom schönsten Wuchse sind. Wer hat nicht Kastanien, Eichen, Eschen, Ulme, Nußbäume u. s. w. gesehen, die, in der Baumschule behufs Verpflanzung gezogen, keine Pfahlwurzel haben, aber nichtsdestoweniger den kräftigsten Wuchs? Die Ueberlegung und das Experiment beweisen, daß die Pfahlwurzel, welche sehr nützlich ist, um das Umwerfen der Bäume durch den Wind zu verhindern, viel weniger zur Ernährung und zum Großwerden beiträgt als die Wurzeln, welche sich horizontal verbreiten. Folgendes Experiment wurde gemacht. Der Hälfte der Pflanzen einer Eichensaat wurden im dritten Jahr die Pfahlwurzeln abgestoßen, aber kein Unterschied in der Entwickelung beobachtet.» [1])

Eine nachtheilige Einwirkung der Störung der freien Entwickelung der Pfahlwurzel oder auch ihrer gänzlichen Beseitigung («es ist gleichgültig, ob man die Pfahlwurzel gänzlich nimmt oder nur einen Theil abschneidet, weil, im Falle die Pflanze noch starke Wurzeln zu produziren vermag, an Stelle der abgeschnittenen eine kräftige Bewurzelung entsteht») auf das oberirdische Wachsthum erkennt demnach *Duhamel* nicht an. Jedoch macht er etliche Voraussetzungen, wie aus folgenden Stellen hervorgeht.

«In einem Saatbeet mit oben guter Erde und unten Fels wird das Wurzelsystem der Eiche auch ohne Stutzen der Pfahlwurzel zur Ver-

[1]) Des semis etc. S. 114.

pflanzung geeigneter. Aber man darf bei dieser Erziehungsweise die Pflanzen nicht einander zu nahe setzen, weil sich sonst die Wurzeln nicht genügend verbreiten können. — Wo der Boden nicht tief ist, breiten sich die Wurzeln der Ulme sehr weit aus in dem fruchtbaren Land an der Oberfläche; paßt ihnen das Land, so werden sie groß, aber dazu ist nothwendig, daß sie in großer Entfernung von einander stehen. Dicht beisammenstehend auf derartigen Böden bleiben sie buschartig. — Findet sich in der Tiefe ein Fels, in welchem die Wurzeln nicht eindringen können, so könnte eine einen Fuß dicke Schicht guter Erde nur schwaches Buschholz ernähren, zwei Fuß fruchtbarer Erde guten Buschholzwuchs, wenigstens drei Fuß sind nothwendig für die Ernährung von Bäumen, welche einen Halbhochstamm geben können, für einen Hochstamm braucht man wenigstens vier Fuß. Diese Angaben können übrigens nur beiläufig sein. Denn drei Fuß einer sehr nährreichen und etwas feuchten Erde werden den Bäumen mehr Nahrung bieten als vier bis fünf Fuß magerer trockener Erde. Man wird entgegnen, daß es nicht selten ist, daß sehr große Bäume, Walnuß, Ulme, Esche, in Böden mit weißem, dichtem Tuff sich finden, wenn letzterer wenigstens zwei Fuß unter der Oberfläche sich befindet. Aber erstens treiben Walnuß und Esche Wurzeln in den Tuff, wenn er nicht gar zu fest ist; zweitens sind die Bäume, welche so schönen Wuchs haben, isolirt und breiten in diesem Falle ihre Wurzeln sehr weit aus, sie finden in der Oberfläche des Bodens zur Ergänzung, was ihnen in der Tiefe mangelt [1]).»

Die Pfahlwurzel kann ohne Nachtheil entbehrt werden, wenn sich dafür die oberen Seitenwurzeln entsprechend stärker verbreiten können, und wenn sie, was allerdings vielfach nicht zutrifft, in dieser seichten Schicht genügend Nahrung und Wasser erhalten. Auch Pflanzen mit sonst tiefgehenden Wurzeln können sich seichtem Boden anpassen, ein Einfluß des Wurzeltypus kommt bloß insofern zur Geltung, als das Vermögen, das Wachsthum der Wurzeln in die Tiefe durch reichliche Seitenbewurzelung zu ersetzen, spezifisch verschieden ist. Jedoch scheint es, daß eine gewisse minimale Tiefe zugänglichen Erdreichs in jedem Falle nothwendig ist und daß diese mit der Größenentwickelung des Pflanzenindividuums zunimmt. Indessen können es Ursachen verschiedener Art

---

[1]) A. v. O. der cit. Schrift.

sein, welche die von *Duhamel* namhaft gemachten Tiefengrenzen verlangen oder letztere modifiziren. Klima, Lage, Bodenbeschaffenheit, verschiedenes Nahrungs- und Wasserbedürfniß der einzelnen Holzarten üben jedenfalls großen Einfluß, nach anderweitigen Erfahrungen können auch Hochstämme in geringeren als den von *Duhamel* angegebenen Erdtiefen zu guter Entwickelung kommen. Man könnte aber auch vermuthen, daß bei gar zu flacher Erdschicht überhaupt nicht mehr triebkräftige Wurzeln in einer für kräftige oberirdische Triebbildung genügenden Zahl sich bilden können, besonders wenn die Verzweigungsverhältnisse des Wurzeltypus starke Seitenbewurzelung weniger leicht entstehen lassen.

Im Ganzen ist den Erfahrungen *Duhamel*'s ebenso wie jenen der Obstbaumkultur zu entnehmen, daß die Abänderungen des Wurzeltypus von Bäumen für die korrelative Entwickelung der oberirdischen Theile insoweit ohne Belang sind, als die betreffenden Baumarten aus inneren und äußeren Gründen im Stande sind, überhaupt noch eine genügende Menge kräftig wachsender Wurzeln zur Ausbildung zu bringen. Die vermuthete Korrelation könnte sich nur auf die Menge und Stärke der Wurzeln überhaupt und nicht gerade auf die Ausgestaltung des besonderen Wurzeltypus beziehen.

Weitere Angaben enthält die forstliche Litteratur, namentlich das *Th. Hartig*'sche Werk «Vollständige Naturgeschichte der forstlichen Kulturpflanzen Deutschlands[1])». Nach diesen Angaben lassen sich folgende Sätze begründen:

1) Die meisten Waldbäume ändern später ihr Wurzelsystem zum Nachtheil der Pfahlwurzel oder unter gänzlicher Preisgabe derselben, während sich dafür die seitliche Be-

---

[1]) Auch *Th. Hartig*, Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen (1878). S. 198: «Es ist nur in sehr beschränktem Grade richtig, daß die Wurzeln dem Mittelpunkte der Erde entgegenwachsen. Auch auf lockerem, tiefgründigem Boden hört der Tiefenzuwachs der Pfahlwurzel sehr früh auf, und der Wurzelwuchs verflacht sich mit zunehmendem Alter der Pflanzen immer mehr». — S. 248: «Die Eigenthümlichkeiten der Wurzelentwickelung, die nur bei jüngeren Pflanzen bestehen, verschwinden im höheren Lebensalter der Bäume mehr oder weniger. Es ist mehr als wahrscheinlich, daß im höheren Lebensalter der Bäume die Arteigenthümlichkeit der Wurzelbildung verschwindet durch örtlich verschiedene Bodenbeschaffenheit».

wurzelung um so mehr entwickelt. Die Periode des Zurücktretens der Pfahlwurzel fällt aber nicht etwa zusammen mit der Periode der Abnahme des Höhenwuchses.

Nach *Hartig* bleibt bei der Fichte die Pfahlwurzel schon vom 5. Jahre an in ihrem Tiefenwuchse zurück, die Wurzeln verbreiten sich in vielfach verästelten Fasern an der Oberfläche des Bodens. Die Rothbuche treibt in den ersten Jahren eine einfache Pfahlwurzel mit wenig Seitenwurzeln. Schon vom 3. Jahre an gewinnen die zunächst unter dem Wurzelstocke entsprungenen Faserwurzeln einen kräftigeren Wuchs und bilden sich zu Seitenwurzeln aus, die, in der Nähe der Oberfläche des Bodens verlaufend, ein reichliches Faserwurzelsystem entwickeln. Im 5. bis 6. Jahre hört das Längenwachsthum der zu 12 bis 15 Zoll Länge herangewachsenen Pfahlwurzel von selbst für immer auf, die ganze unterirdische Holzerzeugung wirft sich ausschließlich auf die Seitenwurzeln. Bis zum 30. Jahre sind es 2, seltener 3 der tieferen Seitenwurzeln, welche sich vorzugsweise entwickeln, schräg in die Bodentiefe eindringend. Vom 30. Jahre an bleiben auch diese Wurzeln gegen die höher am Wurzelstock stehenden, flach unter der Erdoberfläche verlaufenden zurück, diese bilden vom 30. Jahre an den Hauptbestandtheil des Wurzelsystems. Im Haubarkeitsalter ist daher der eigentliche Wurzelstock im Verhältniß zu seiner Kreisfläche ungewöhnlich flach, meist nur $1^1/_2$, selten 2 Fuß tief. Kräftige einjährige Pflanzen der Weißbirke zeigen auf lockerem Boden eine ziemlich gerade abwärtssteigende Pfahlwurzel, nebst einer reichlichen Entwickelung von Seitenwurzeln. Aber schon an solchen Pflanzen läßt sich eine Neigung der Pfahlwurzel zur Seite nicht verkennen. Sind die Pflanzen weniger üppig, so ist dies Umbiegen der Pfahlwurzel schon $^1/_2$ bis 1 Zoll unter dem Wurzelknoten bis zum rechten Winkel die Regel und zwar ohne alle äußere Veranlassung. Die Pfahlwurzel streicht dann wie die Seitenwurzeln in der Bodenoberfläche fort und verästelt sich sehr bald in Faserwurzeln. Die Saatpflanze der Stieleiche erscheint in 4 bis 5 Wochen über der Erde, nachdem sie schon 8 bis 10 Tage vorher eine lange Pfahlwurzel senkrecht in den Boden getrieben hatte. Dieser Wurzelkeim kann ohne Störung der Keimkraft weggenommen werden, es entwickeln sich dann viele sich seitlich verbreitende Fasern. Die Bewurzelung ist in der Jugend vorzugsweise tiefgehend. Die senkrechte Pfahlwurzel dringt schon im 1. Jahre 10

bis 12 Zoll tief in den Boden. An dieser starken Pfahlwurzel entwickeln sich bis zum 6. bis 8. Jahre nur sehr wenige feine Faserwurzeln, erst dann bilden sich einige Seitenwurzeln aus, die aber bis zum mittleren Alter gegen den Wuchs der Pfahlwurzel zurückbleiben. Vom 60. bis 70. Jahre an erhalten die Seitenwurzeln eine überwiegende Entwickelung, so daß im höheren Alter die Pfahlwurzel im Verhältniß zu ihnen gering wird, ohne aber verloren zu gehen. Tiefgründigkeit fördert das Gedeihen der Eiche, aber der Boden braucht nicht so tief zu sein, wie man gewöhnlich glaubt, da auch im Hochwalde die in der Jugend starke Entwickelung der Pfahlwurzel schon vor dem mittleren Alter zurückbleibt. Die Hauptwurzelverbreitung älterer Eichen nimmt selbst auf tiefgründigen Böden selten mehr als 3 bis 4 Fuß Tiefe ein, diejenigen Fälle ausgenommen, wo der Boden in großer Tiefe austrocknet. Von der Kiefer sagt *Th. Hartig*, daß sich auf lockerem, tiefgründigem Boden die Pfahlwurzel bis ins hohe Alter überwiegend erhält. Selbst die Seitenwurzeln, welche sich vom 40. Jahre an stärker entwickeln, dringen schräg in die Bodentiefe, senden jedoch auf sehr unfruchtbaren Böden lange, dicht unter der Bodenoberfläche hinstreichende Wurzeläste weit hinaus.

Aus diesen paar Beispielen ist das verschiedene Verhalten der Baumarten in Bezug auf ihre Pfahlwurzel ersichtlich, dieselbe ist bald stärker, bald schwächer entwickelt, sie geht früher oder später, mehr oder weniger leicht verloren, aber selbst bei der tiefwurzelnden Eiche überwiegt schließlich die seitliche Bewurzelung, ohne daß das Aufgeben der Pfahlwurzel in dem normalen Ablauf des Lebens mit dem Aufhören oder der Benachtheilung des Höhenwuchses zusammenfiele. Der Pfahlwurzel wird von den Autoren eine Bedeutung nur als «Feuchtigkeitsheber» zugeschrieben, bei mangelnder Feuchtigkeit in der Oberfläche sei sie unentbehrlich, bei genügender Feuchtigkeit könne sie entbehrt werden. «Für den tief lockeren Boden hat die ungestörte Entwickelung der Pfahlwurzel, welche als Feuchtigkeitsheber dient, wenn die feuchte Schicht etwas tief liegt, ihren nicht zu verkennenden Nutzen. Für den bündigeren Boden hat sie nicht die gleiche Bedeutung. Die Pfahlwurzel ist unzweifelhaft ein wichtiges Organ für den Sandboden. Beim Versetzen der Kiefern ist besonders darauf zu achten, daß die Pfahlwurzeln erhalten bleiben. Sandboden zur Erziehung der Jährlingskiefern ist besonders ge-

eignet wegen der längeren Wurzeln, besonders wenn es sich um Jährlinge für Sandboden handelt[1]).»

2) Die natürliche oder künstliche Hemmung der Pfahlwurzel und die Umänderung der tieferen in seichtere Bewurzelung hat unter gewissen Voraussetzungen keinen Nachtheil, vielmehr oft Vortheil für die Pflanzen.

Hier entnehme ich einige Angaben aus einer Schrift *v. Manteuffel's*[2]). «Es liegt in der Hand des Forstmanns, welche Gestalt er den Wurzeln geben will. Man kann Pfahlwurzeln oder viele, nach allen Seiten gehende Seitenwurzeln erziehen. Tieflockerung und möglichst viele Nahrung unten und wenig oben bewirkt eine lange Pfahlwurzel, Undurchlässigkeit und Zähigkeit des Bodens mit oberflächlicher Lockerung und Düngung giebt Pflänzlinge mit flachlaufenden Wurzeln. Man sollte bei der Anlegung der Saatkämpe die Eigenschaften des Bodens berücksichtigen, auf den die Pflänzlinge versetzt werden sollen, damit sie diesem angemessene Wurzeln bekommen. Für flachgründige Böden suche man den Pflänzlingen möglichst viele flache Wurzeln anzuerziehen, dagegen wo die Feuchtigkeit in der Tiefe ist, lange Pfahlwurzeln.»

«In einem Theil der Dresdener Haide wächst die Pfahlwurzel der Kiefer nur so lange in ihrer natürlichen Richtung fort, bis sie auf eine alle Nährstoffe entbehrende Sandschicht trifft; sie stirbt sodann von unten herauf ab, während sich dafür die seitlichen Wurzeln meist in horizontaler Richtung als lange dünne Stränge innerhalb der humosen oberen Erdschicht ausbreiten und dabei tiefer oder seichter hinstreichen, je nachdem der Boden trockener oder feuchter ist. Sie ändert dabei gänzlich ihren natürlichen Charakter. Fast allgemein ist die Ansicht herrschend, daß diejenigen Holzarten, welche von der Natur vorzugsweise zur Ausbildung einer Pfahlwurzel angewiesen sind, in ihrem Höhenwachsthum nachlassen, sobald die Pfahlwurzel durch irgend einen Umstand sich weiter auszubilden verhindert wird, und es wird vielfach angenommen, daß die ungehinderte Pfahlwurzelbildung eine unerläßliche Bedingung zum erfreulichen Wachsthum dieser Holzarten zu betrachten sei. Können wir dieser Ansicht in der Allgemeinheit schon deshalb nicht beipflichten, weil, angenommen, daß die Pfahlwurzel stets einen besonders lebhaften

[1]) *Burkhardt,* Säen und Pflanzen nach forstlicher Praxis. 1888.

[2]) Die Hügelpflanzung der Laub- und Nadelhölzer. 1874.

Höhenwuchs des Stammes zur Folge hätte, auch die Buchen, Fichten, welche zufällig etwa eine Pfahlwurzel getrieben haben, sich durch besonderen Höhenwuchs vor ihren flachbewurzelten Nachbarinnen ebenfalls auszeichnen müßten, so sprechen auch noch vielfache Erfahrungen gegen diese Annahme. Die schönsten Eichen in Deutschland findet man z. B. im Spessart und nur wenige derselben haben Pfahlwurzeln. Ebenso sind mir herrliche Tannenbestände bekannt, die mit ihren Wurzeln ganz flach, wie die Fichten, in der oberen Erdschicht hinstreichen, weil für ihre Pfahlwurzeln in dem darunterliegenden Letten ebensowenig Nahrung vorhanden sein würde, wie im Sandsteinuntergrund des Spessart für die dortigen Eichen der Fall ist. Man hat uns darauf den Einwurf gemacht, daß die Eichen im Spessart, welche wir im höheren Alter ohne Pfahlwurzeln finden, ebenso wie die Tannen auf flachgründigem Boden, in ihrer frühesten Jugend mit Pfahlwurzeln begabt wären, diese aber abstürben und durch Abfaulen verschwänden. Aber wir glauben gerade durch diese Erscheinung darauf hingewiesen zu werden, den jungen Pflänzlingen ihre Pfahlwurzel zu nehmen, um die Natur in ihren Bestrebungen zu unterstützen, indem wir das durch einen scharfen, leichtverheilenden Schnitt bewirken, was außerdem in späteren Jahren durch Absterben und Abfaulen der Pfahlwurzel geschehen würde. Auch die Kiefer scheint in dieser Beziehung keine Ausnahme zu machen, denn sie erreicht auf trockenem und magerem Boden mit Felsenuntergrund gewöhnlich zwar nur eine geringe Höhe, sie pflegt jedoch auf flachgründigem, aber sonst frischem Boden auch ohne Pfahlwurzel zu einem schönen, langen Stamme heranzuwachsen.»

Bemerkenswerth ist bezüglich der Eichen, daß nach Stutzen der Pfahlwurzel beobachtet wurde, daß die Pflanzen zweigipfelig wurden. *v. Manteuffel* giebt an, daß dies aber nur bei einzelnen Pflänzlingen der Fall, vielmehr eine Eigenthümlichkeit dieser Holzart sei und mit dem Stutzen der Pfahlwurzel nichts zu thun habe. Wie oben erwähnt, beobachtete *Duhamel* an Eichen mit abgestoßener Pfahlwurzel keine Abweichung gegenüber den unversehrten Pflanzen. Andere geben aber die Entstehung mehrerer Gipfel durch das Verpflanzen auch für Fichten an, mit der Bemerkung, dasselbe trete hauptsächlich bei üppigerem Wuchse und auf besseren Böden ein. Letzterer Umstand deutet darauf hin, daß es sich nicht um Beziehungen zwischen Vorhandensein der Pfahlwurzel

und normalem Höhenwuchse handelt, was am wenigsten bei der Fichte zu erwarten ist, vielmehr um Ernährungsfolgen. Vielleicht veranlaßt die durch das Versetzen vermehrte Wurzelbildung und Ernährung auf besseren Böden eine Mehrzahl der obersten Seitensprosse in ähnlicher Weise zur Aenderung ihres geotropischen Verhaltens, wie dies eintritt, wenn Beseitigung des Gipfeltriebs ungewöhnliche Erstarkung der nächsten Seitensprosse zur Folge hat.

Alle die beigebrachten Erfahrungen mit Obst- und Waldbäumen, welche sich leicht noch vermehren ließen, lehren einerseits, daß den Bewurzelungen eine sehr bedeutende Akkommodationsfähigkeit an die mechanischen Bedingungen des Wurzelverlaufs innewohnt, in Folge deren sie sich bei ihrem normalen Typus ganz widersprechenden Bodenverhältnissen zurechtfinden können. Andererseits erweisen sie, daß bei tiefwurzelnden Bäumen die Abänderungen des Wurzeltypus **an sich** keine nachtheilige Folge für die oberirdische Entwickelung haben, so lange der abgeänderte Wurzeltypus noch eine genügende Zahl triebkräftiger Wurzeln zu produziren vermag. Die vermuthete korrelative Wirkung des Wurzelsystems auf das Wachsthum der Stammtheile scheint einzig in der Energie des Wurzelwachsthums und dem Vorhandensein einer entsprechenden Zahl energisch wachsender Wurzeln begründet zu sein, während die spezifische Anordnung dieser Wurzeln für den Effekt nebensächlich scheint. Eine Beziehung zum Wurzeltypus und dadurch ein verschiedenes Verhalten verschiedener Baumarten ist aber dadurch gegeben, daß das Vermögen, eine genügende Zahl energisch wachsender Wurzeln bei stärker eingreifenden mechanischen Beeinflussungen des normalen Wurzelsystems zu erzeugen, spezifisch verschieden ist.

In Wirklichkeit ist nun allerdings der Wuchs einer Holzart auf einem für ihre normale Wurzelverbreitung der Tiefe nach ungeeigneten Boden wohl in den meisten Fällen mangelhaft, und der Satz «wo die Bäume hoch und kräftig werden, ist der Boden tiefgründig» im Allgemeinen zutreffend. Indessen handelt es sich in der Wirklichkeit um die Verquickung verschiedener Faktoren, und häufig treffen die Voraussetzungen, unter denen ein von Natur aus tiefwurzelnder Baum bei

seichter Wurzelverbreitung bestens gedeihen kann, nicht zu. Auch ist zu erwähnen, daß die Anpassung des Wurzelsystems an seichten Verlauf unter Umständen mit besonderem Aufwande von Stoff und Kraft verbunden ist, während sie sich in anderen Fällen leicht vollziehen kann. Je gründlicher durch die mechanischen Widerstände von vorneherein das natürliche Bestreben der Wurzeln, sich in die Tiefe zu bohren, aufgehoben wird, um so leichter wird die Anpassung des Wurzelverlaufs geschehen können, in ähnlicher Weise, wie dies vom Referenten bei Zuckerrüben beobachtet wurde [1]). Waren dieselben bei flacher Krume über festem Untergrunde gebaut, so vergabelten sich die Pfahlwurzeln an der Grenze des festen Untergrundes, in welchen sie sich immer wieder einzubohren versuchten, der Widerstand bewirkte auch abnorme Erstarkung hochgelegener Seitenwurzeln. Wurden dagegen die Rüben in einem sehr flachen, nur 12 cm tiefen Kasten gebaut, so entstand eine völlig normale, nur am Kastenboden gekrümmte Rübe. Die Pfahlwurzel war am Kastenboden vollständig zur Seite gelenkt, sie vermochte ihrem Längenwachsthumsstreben ungestört zu folgen, blieb deshalb ganz normal, ohne Ausbildung stärkerer Seitenwurzeln. Aus ähnlichen Gründen können zweckmäßige, künstliche Eingriffe, z. B. durch Herstellung undurchdringlicher Hindernisse oder durch eine dem definitiven Standorte entsprechende Erziehung des Wurzelsystems, bewirken, daß die Bäume weit besser gedeihen und ihre Bewurzelung mit geringeren Stoff- und Kraftverlusten zweckmäßiger verbreiten, als wenn sie sich selbst überlassen geblieben wären. Ebenso kann es vorkommen, daß ein Baum, der an einem bestimmten Standorte von der Aussaat an sich entwickelt, bestens gedeiht, während dieselbe Baumart, in bereits vorgerücktem Alter dorthin verpflanzt, lange oder andauernd kümmert. Das Wurzelsystem kann sich ersteren Falls von Jugend auf, wo es sich noch am leichtesten umgestaltet, den mechanischen Verhältnissen anpassen, während beim älteren, bisher unter anderen Bedingungen der Wurzelverbreitung entwickelten Individuum die Wurzelkrone dementsprechend vorgebildet ist. Kann beim Verpflanzen den mechanischen Verhältnissen des neuen Standorts nicht irgendwie Rechnung getragen werden, so kann es dem Baum viele Mühe

---

[1]) Das Wurzelsystem der Runkelrüben. Diese Zeitschrift. Bd. XI. S. 366 und 374.

machen, unter den neuen Verhältnissen ein Wurzelsystem mit günstiger Verbreitung zu produziren.

Bezüglich der Wurzeln landwirthschaftlicher Kulturgewächse sind dem Referenten bisher nur wenige Autoren bekannt geworden, welche unsere Frage berühren.

Voßler sagt[1]): «Für das konstitutionelle Verhältniß der tieferen Bewurzelung ist das Verhalten der Luzerne besonders charakteristisch, deren Gedeihen nicht sowohl von einer besonderen Güte des Bodens als von dessen Tiefgründigkeit und Lockerheit bedingt ist. Auf einem noch so guten, aber seichtgründigen Boden ist ihre Lebensdauer sehr beschränkt. Das relativ verschiedene Verhalten hinsichtlich des Tiefgangs wird, weil es auf konstitutionellen Ursachen beruht, sofern das dargebotene Bodenvolum überhaupt Spielraum gestattet, immer bestehen bleiben, wenn es auch in verhältnißmäßig hohem Grade der Kultur gelingen mag, durch Lockerung des Bodens und Nährstoffanhäufung die Wurzeln der Pflanze nach oben zu ziehen. — Das konstitutionelle Verhalten der Wurzeln hinsichtlich ihres Tiefgangs kann nur modifizirt, aber niemals aufgehoben werden, ohne zugleich das Leben der Pflanzen aufzuheben. — Der Hopfen erhält allerdings im Verhältniß zu seiner tiefen Bewurzelung immer nur eine oberflächliche Düngung und gedeiht vortrefflich. Daraus folgt aber nicht, daß er auf flachem Boden dabei ebensogut gedeihen könnte. Jedermann weiß, daß er trotz Düngung auf einem solchen Boden nur ein paar Jahre wächst und nie zu einem guten Ertrag kommt. Alle tiefwurzelnden Pflanzen sind nun einmal in Dauer und Ertrag vom Untergrund abhängig. Eine andere Frage ist die, ob nicht die tiefwurzelnden Pflanzen durch besondere Mittel und inwieweit sie zu einem Aufgeben ihres konstitutionellen Tiefgangs veranlaßt und aus den oberen Schichten ernährt werden könnten. Daß dies bis zu einem gewissen Grade möglich, ist experimentell schon versucht worden, im Großen aber, soviel bekannt, nirgends. Das Verpflanzen scheint das einzige Mittel zu sein, welches ein flaches Wurzeln bis zu einem gewissen Grade erreichen läßt. *Gasparin* führt in dieser Beziehung zwei interessante Thatsachen an. Er nimmt als allgemeine Erfahrung von der Luzerne an, daß sie einen größeren Theil ihrer Nahrung aus dem Untergrund aufnehme und in Folge dessen bei wiederholtem Anbau weniger gut gedeihe und ihre Lebensdauer ab-

[1]) Der landwirthschaftliche Pflanzenwechsel. 1873. S. 25, 40.

kürze. Als ein im Großen freilich kaum ausführbares Mittel, ihren Anbau fortzuführen, empfiehlt er nun, sie zu versetzen, die Pfahlwurzel vorher abzuschneiden und dadurch die Pflanze zu veranlassen, daß sie nunmehr reichlich Seitenwurzeln treibt, welche sie aus der Ackerkrume ernähren. So behandelte Luzerne wuchs nach seinen Versuchen auf luzerneerschöpftem Boden ebensogut wie auf solchem, welcher nie solche getragen hatte. Vom Lein, der bekanntlich eine tiefe Pfahlwurzel besitzt, giebt *Gasparin* an, daß er erfahrungsgemäß um so später auf dasselbe Land wieder gebracht werden könne, je tiefer der Boden ist und je mehr die Wurzel in denselben eindringt. Er baute nun versuchsweise auf einem gut gedüngten Lande, in welchem in 20 cm Tiefe ein Steinpflaster sich befand, damit die Wurzeln nicht tiefer dringen konnten, 8 Leinernten hinter einander, von welchen die letzte ebenso befriedigend war wie die vorhergehenden.»

Voßler nimmt an, daß für gewöhnlich die gute Entwickelung der tiefwurzelnden Pflanzen an die normale Ausbildung und Verbreitung ihres Wurzelsystems geknüpft sei, weil sie zu Folge ihrer Natur auf die Ernährung aus dem Untergrunde angewiesen seien. Auf der anderen Seite scheinen aber die Versuche *Gasparin's* zu beweisen, daß durch mechanische Beeinflussung des Wurzelsystems, bestehend im Abschneiden der Pfahlwurzel, eine seichtere Bewurzelung, ohne Nachtheil für die Entwickelung, erzielt werden kann. Da aber bei seichterem Boden in Folge Hemmung der Pfahlwurzel eine analoge Veränderung des Wurzeltypus sich vollzieht, wie durch Abschneiden der Pfahlwurzel, bleibt als Widerspruch, warum, bei gleichzeitiger reichlicher Nahrungszufuhr zu den oberen Erdschichten und unter Voraussetzung genügenden Wasservorraths, die Tiefwurzler bei der durch natürliche Verhältnisse bedingten seichten Wurzelverbreitung nicht ebensogut gedeihen sollten, wie in den Versuchen von *Gasparin* der Fall war.

H. Hellriegel[1]) wurde zu Erörterungen über das Verhältniß der Art der Ausbildung des Wurzelsystems und der Kraft des oberirdischen Wachsthums durch seine Untersuchungen über die Bewurzelung und das Verhalten verschiedener Pflanzen bei Kultur in beschränktem Bodenvolum veranlaßt. «Das gesammte Wachsthum der oberirdischen Pflanze ist

[1]) Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaus (1883). (Abschnitt über Wurzel und Bodenvolum. S. 118—280.)

streng abhängig von dem Entwickelungsgrade, den die Wurzel erreichte. Nur wenn die letztere sich zu ihrer höchsten Vollkommenheit auszubilden vermag, kann sich die oberirdische Pflanze in aller Ueppigkeit entfalten. Es ist nicht möglich, das Wachsthum der Wurzel zu beschränken, ohne die Entwickelung des Stammes und der Zweige zugleich zu hemmen. Es wird erlaubt sein zu vermuthen, daß jede Pflanzenart bei der Anlage ihrer Wurzel so gut eine besondere und eigenthümliche architektonische Idee verfolgt wie bei der Anlage ihres oberirdischen Theils. Ist aber diese Vermuthung richtig, so wird man jeden Umstand, der geeignet ist, die Pflanze in der Verfolgung dieser Idee wesentlich zu hindern, als nachtheilig für die Vegetation derselben zu betrachten haben; man wird schließen müssen, daß jede Pflanzenart so gut ihr bestimmtes Bodenvolum verlangt, um den höchsten Grad ihrer Ausbildung zu erlangen, wie ihre bestimmte Menge von Kali und Phosphorsäure, ja daß sogar die Form des ihr zur Ausnutzung verfügbaren Bodenkörpers nicht ganz gleichgültig ist.»

Die Ursache, warum die Pflanzen ein bestimmtes Bodenvolum zur Verbreitung ihrer Wurzeln beanspruchen, bei zu beschränktem Raum in ihrer oberirdischen Entwickelung benachtheiligt werden, findet Verfasser in den vielfachen Störungen, welches das Wurzelwachsthum bei beschränktem Bodenvolum erleidet. «In kleinen, allseitig geschlossenen Gefäßen trifft die wachsende Wurzel auf unbesiegbare Hindernisse überall viel früher als im freien Lande und zwar nicht bloß an den Wänden des Gefäßes, sondern auch innerhalb des Bodens selbst, indem es schwierig ist, dem Bodenmaterial in kleinen Gefäßen auf die Dauer einen ähnlichen Grad von Porosität und Gahre zu bewahren, wie ihn dasselbe im freien Feld leicht von selbst erhält. Von den in den engen Raum eingezwängten Wurzelfasern geht in allen Fällen ein mehr oder weniger großer Theil an den Widerständen, die er überall schon nach kurzem Wachsthum trifft, zu Grunde, ehe er seine natürliche Ausbildung erlangt hat. Das muß aber ähnliche Wirkung haben wie eine oft wiederholte absichtliche Verschneidung des Wurzelwerks und kann unmöglich ohne Einfluß auf die Produktion der ganzen Pflanze bleiben. Wie groß dieser Einfluß unter Umständen werden kann, lehrt uns der Apfelbaum, den uns der Gärtner als fruchttragenden Zwerg in einen Blumentopf auf die Tafel setzt.» An einer anderen Stelle, wo Kulturversuche in kleinen Gefäßen beschrieben

werden, heißt es: «Das Wachsthum war anfangs befriedigend, bis die ganze Erde durchwachsen war und die Wurzeln auf den Boden des Gefäßes trafen. Hier gingen sie zum Theil zu Grunde. Die Pflanzen waren in Bezug auf die Ausbildung ihres Wurzelwerks herzlich schlecht situirt. Vielleicht keine einzige ihrer Wurzelfasern vermochten sie zu ihrer normalen Länge zu entwickeln, sie mußten sich dadurch helfen, daß sie immer neue Nebenwurzeln ins Treffen führten, ihr ganzes Leben war in dieser Richtung ein angestrengter Kampf ums Dasein.» Ein nachtheiliger Einfluß auf den normalen Verlauf der ganzen Entwickelung ergab sich hieraus nicht, nur blieb die Größe und Ueppigkeit zurück hinter den Pflanzen, welche im gleichen Boden im freien Lande wuchsen.

Wenn aber der Autor auch die Wichtigkeit der freien Entfaltung der typischen Wurzelform betont, so scheint er doch zuzugestehen, daß Modifikationen des Wurzeltypus ohne Nachtheil vertragen werden, wenn auch bei verschiedenen Pflanzenarten je nach ihrem Wurzeltypus in verschiedenem Betrage. So wird von den Erbsen bemerkt, daß man aus der reichlichen Verzweigung ihrer Wurzeln folgern dürfe, daß sie Störungen, welche einzelne Glieder des Systems und selbst die Pfahlwurzel treffen, verhältnißmäßig leicht überwinden werden. Als Erbsen in eine mit fest zusammengedrückten Sägspänen gefüllte Kiste gesät wurden, zeigte sich, daß die Wurzeln vieler Pflanzen in ihrer normalen Entwickelung gehindert waren, häufig war die Pfahlwurzel verkümmert und abgestorben. Diese Bemerkung wurde aber erst bei der Ernte gemacht. Während der Vegetation hatte man keine Veranlassung, einzelne Pflanzen für krank zu halten, auch konnte man bei der Ernte nicht konstatiren, daß die oberirdischen Theile der Pflanzen mit normal entwickelter Wurzel wesentlich besser und kräftiger entwickelt seien als der Stammtheil der Exemplare ohne Pfahlwurzel. Die Pfahlwurzel der Erbsen verliert später ihre anfänglich hervorragende Stellung im Wurzelsystem allmählich gänzlich, wodurch sich die Erbsen an verschiedene Holzarten anschließen. — Bezüglich der Ackerbohnen giebt *Hellriegel* an, daß die Pfahlwurzel gegenüber den Erbsen eine hervorragendere Stellung einnehme und immer beibehalte. Man dürfe hieraus mit großer Wahrscheinlichkeit schließen, daß, während Verlust einzelner Nebenwurzeln kaum empfunden werde, jede Störung der Entwickelung der Pfahlwurzel empfindlicher berühren werde als bei den Erbsen. Bei der Aussaat in fest zusammengedrückte

Sägspäne entstanden viele Pflanzen mit verkümmerter Pfahlwurzel; an diesen wurde ein merkliches Zurückbleiben, wenn nicht der Masse, so doch der Zeit nach, konstatirt. Man überzeugte sich, daß die Bohne nach Verlust der Pfahlwurzel gar nicht den Versuch macht, dieselbe durch energisches Vortreiben einer besonders begünstigten Nebenwurzel zu ersetzen. Die an dem erhalten gebliebenen Stumpfe der Pfahlwurzel stehenden Nebenwurzeln wurden zwar kräftiger, aber unter sich als gleichwerthig zusammen gefördert. — Von der Lupine endlich wird ausgesagt, daß einerseits Verluste von Seitenwurzeln weniger leicht und weniger schnell ersetzt worden wie bei den vorigen Pflanzen, und daß Verletzungen der Pfahlwurzel auf das Wachsthum der ganzen Pflanze hemmend wirke und Verlust derselben verhängnißvoll werden könne. Bei Kultur in fest zusammengedrückten Sägspänen war das Wachsthum im Allgemeinen wenig günstig, nur sehr wenige Exemplare hatten normale Pfahlwurzel, nach Verlust derselben entstand ein viel ärmlicherer Ersatz als bei Bohnen und Erbsen. «In diesen Resultaten wird man einen genügenden Beweis für die Annahme finden dürfen, daß gewisse Pflanzen, wenn sie durch ungünstige Verhältnisse eine wesentliche Störung in der Verfolgung der besonderen architektonischen Idee der Wurzelgestaltung erfahren, sich empfindlicher zeigen als andere.»

Ueber die Entwickelung der Wurzeln im freien Lande bemerkt *Hellriegel,* daß bei der großen Fähigkeit der Wurzeln, sich den gegebenen Verhältnissen zu akkommodiren, anzunehmen sei, daß sich dieselben immer dort am besten entwickeln würden, wo ihnen die geringsten Widerstände entgegenstehen; daß sich das Wurzelgeflecht der nämlichen Pflanzenart je nach den äußeren Umständen bald näher der Oberfläche, bald in größerer Tiefe entfalte; daß überhaupt die Entwickelung der Wurzeln im freien Lande mehr durch die vorhandene Bodenbeschaffenheit als durch die Eigenthümlichkeit der Pflanzenspezies bedingt werde. «Die Hemmnisse, welche unter gewissen Umständen der feste Boden der normalen Entwickelung des Wurzelgeflechts entgegenstellt, müssen genau so wirken wie das Beschneiden des Stammes und der Zweige, durch welche der Gärtner aus einem beliebigen Apfelbäumchen eine Pyramide u. s. w. bildet, auf den oberirdischen Theil der Pflanze wirkt. In der landwirthschaftlichen Praxis wird diese Beschränkung des Wurzelwachsthums wohl nur selten so weit gehen, daß sie einen entscheidenden Einfluß auf die

Gesammtproduktion der Pflanze gewinnt. Im Freien steht den wachsenden Wurzeln nach allen Seiten hin ein verhältnißmäßig großes Bodenvolum zur Verfügung, und wenn hier auch immer eine mehr oder weniger große Anzahl schlecht situirter Wurzeln sitzen bleibt oder zu Grunde geht, so finden dafür andere Fasern um so mehr Gelegenheit, sich zu verlängern, reichlicher zu verzweigen und die Funktion der verunglückten zu übernehmen.»

Blomeyer[1]) entwickelt ähnliche Anschauungen wie *Voßler*. Z. B. heißt es: «Die Benachtheiligung durch flache Krume und unzugänglichen Untergrund tritt bei den mehrjährigen Tiefwurzlern ganz besonders hervor. Nicht nur, daß Klee, Reps kurz bleiben und schlechten Samenansatz haben, es kommt bei Kümmel, Karden u. s. w. vor, daß sie im zweiten Jahre sich geradezu weigern, ihre Blüthenstengel zu treiben. Ich habe es wiederholt beobachtet, daß selbst auf einer recht fruchtbaren, 18 bis 20 cm tiefen Ackerkrume, aber sehr eisenschüssiger Untergrund, nicht der vierte Theil der Kümmelpflanzen in Blüthe ging und dazu erst noch eines dritten Jahres bedurfte.» — «Die Gräser sind Flachwurzler und entnehmen als solche ihre Nahrung vorzugsweise den oberen Bodenschichten. Wohl schicken sie in geackertem und gut geartetem Boden ihre Wurzeln auch in größere Tiefen hinab, aber es wäre doch sehr verkehrt, auf Grund solcher Wahrnehmungen die Unterscheidung von Tief- und Flachwurzlern fallen zu lassen. Der große Unterschied liegt darin, daß jene auch bei flacher Ackerkrume ihre volle Entwickelung finden, während bei diesen das nicht möglich ist; nicht einmal bei den einjährigen Tiefwurzlern, die sich bei einem schlechten, unzugänglichen Untergrund durch Bildung von Adventivwurzeln am oberen, noch nicht verholzten Theil der Pfahlwurzel einigermaßen zu helfen vermögen, die mehrjährigen aber sind unter jenen Umständen noch viel übler daran.» — «Die Papilionazeen sind Tiefwurzler; ihr Wachsthum und Gedeihen, das Längenwachsthum der oberirdischen Theile und mehr noch Ansatz und Entwickelung der Früchte hängt davon ab, daß ihnen die tieferen Schichten nicht verschlossen sind.»

---

[1]) Die Kultur der landwirthschaftlichen Nutzpflanzen. 1879.

Versuche mit Ackerbohnen und Hafer.

a. Das Akkommodationsvermögen ihrer Wurzeln an verschieden tiefe Erdschichten.

Der Bewurzelungstypus des Hafers ist allgemein bekannt. Bezüglich der Ackerbohne sei bemerkt, daß nach den Beobachtungen des Referenten die von *Hellriegel* (l. c.) gemachten Angaben im Allgemeinen zutreffen. Es entwickelt sich eine kräftige Pfahlwurzel, aus deren Basis kräftige Seitenwurzeln in großer Anzahl dicht gedrängt entstehen. Nach abwärts zu erscheinen die Seitenwurzeln in geringerer Zahl, die basale Region reichster Bewurzelung reicht je nach der Ueppigkeit der Entwickelung der Pflanzen und der Bodenbeschaffenheit mehr oder weniger weit abwärts und grenzt sich von der folgenden Region spärlicherer Bewurzelung mehr oder weniger scharf ab. Die oberen Seitenwurzeln wachsen überwiegend horizontal, die tieferen entspringen in einem spitzen, erdwärts gekehrten Winkel, wodurch sie mehr oder weniger die Richtung schräg abwärts erhalten. Dem Prinzipe nach ist das Verzweigungssystem dasselbe wie bei vielen anderen Tiefwurzlern, z. B. bei den Betarüben[1]).

Die Versuche waren unter Verhältnissen auszuführen, unter denen Verschiedenheiten in der Nahrungsversorgung möglichst vermieden waren. Referent verwendete zu den vergleichenden Kulturen Töpfe und Kästen von gleicher Kapazität, aber verschiedener Tiefe, welche mit gleichartiger Erde gefüllt und mit gleicher Pflanzenzahl bebaut waren. Durch rechtzeitiges Begießen wurde für ausreichende Feuchtigkeit gesorgt.

1. Topfversuche.

8 Töpfe gleicher Kapazität, aber ungleicher Tiefe (zur Hälfte 16, zur Hälfte 7 cm tief) wurden mit guter, gleichartiger Gartenerde gefüllt und im Freien bis zum oberen Rande in Erde eingegraben. Am 24. April geschah die Bestellung mit einer gleichen Anzahl von Hafer- resp. Bohnenkörnern, welche nach dem Gewichte sorgfältig ausgewählt waren.

In den ersten Wochen ließ sich keine Verschiedenheit des Wachsthums in den verschieden tiefen Töpfen erkennen, gegen Ende Mai

---

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XI. S. 358.

aber gewannen die Pflanzen der seichten Töpfe einigen Vorsprung. Am 30. Mai maßen die Stengel der Ackerbohnen (mm):

Tiefe Töpfe: 150 150 145 120 105 130 150 140; Durchschnitt 137; Verhältniß 100
Seichte Töpfe: 150 130 155 130 175 190 140 135 » 151 » 110.

Auch die meisten Haferpflanzen standen in den seichten Töpfen höher und kräftiger.

Längen am 7. Juni:

Tiefe Töpfe: 350 330 310 300 280 250 340 310; Durchschnitt 309; Verhältniß 100
Seichte Töpfe: 390 295 335 356 310 320 325 340 » 334 » 108.

Beim Hafer ist der Unterschied gleichsinnig, aber weniger auffällig als bei den Bohnen.

Am 13. Juni blüht die Mehrzahl der Bohnen in den seichten Töpfen, in den tieferen noch kein Exemplar.

Am 12. Juli werden die Wurzeln durch Abspülen mit Wasser von der Erde befreit, die Stengel gemessen, sowie die Beschaffenheit der Wurzelsysteme ermittelt. Die höheren Pflanzen sind durchaus auch die üppigeren und in allen Theilen stärker entwickelt. Die Pfahlwurzeln waren nirgends durch die Abzuglöcher gewachsen.

1. Ackerbohnen.

Nr. der Pflanzen.	Stengellänge. mm	Zahl der entwickelten Laubblätter.	Die ersten Blüthen stehen im Winkel des Blattes	Länge der Pfahlwurzel. mm	Länge der reichst bewurzelten Pfahlwurzelregion. mm
			Tiefe Töpfe.		
1	850	17	8	530	40
2	700	13	8	1000	50
3	780	17	9	1000	100
4	990	18	6	400	50
5	800	17	8	450	70
6	850	20	9	1450	60
7	920	21	10	1300	30
8	790	19	8	600	30
Durchschnitt	835	17,75	8,25	841,25	53,75.

Nr. der Pflanzen.	Stengellänge. mm	Zahl der entwickelten Laubblätter.	Die ersten Blüthen stehen im Winkel des Blattes	Länge der Pfahlwurzel. m	Länge der reichst bewurzelten Pfahlwurzelregion. mm
			Seichte Töpfe.		
1	900	19	5	650	60
2	1040	19	7	190	60
3	880	17	6	178	70
4	1000	18	6	500	60
5	1000	19	5	500	40
6	1100	20	7	600	40
7	1100	22	6	300	40
8	1060	22	9	600	40
Durchschn.	**1010**	**19,5**	**6,37**	**439,7**	**51,25.**

Bewurzelung.

Bei den Pflanzen der tiefen Töpfe ist die Pfahlwurzel meist sehr beträchtlich entwickelt, völlig gesund, sie bildet mit ihren Verzweigungen am Topfboden ein dichtes Geflecht. Ebenso verfilzen sich die länger gewachsenen Seitenwurzeln, besonders der obersten Region, an der Topfwand. Auch die Stengelbasis ist reich bewurzelt, soweit sie sich (25 mm) in der Erde befindet.

Bei den Pflanzen der seichten Töpfe haben die Pfahlwurzeln ebenfalls ihre unversehrte Spitze, nur bei Pflanze 2 ist sie abgestorben und bei Pflanze 3 geht sie bei 178 mm Länge in 4 gleich starke, bis 250 mm lange Wurzeln aus einander. Die Seitenwurzeln der oberen Region sind im Allgemeinen kräftiger entwickelt als in den tiefen Töpfen Das Wurzelgeflecht an Boden und Wand der Töpfe ist weniger stark als in den tiefen Töpfen.

2. Hafer.

Die Halme, gemessen von der Erdoberfläche bis zur Rispenbasis haben im Durchschnitt eine Länge von

Tiefe Töpfe . .	631	mm
Seichte Töpfe . .	774,5	».

In der Bewurzelung ist in den beiderlei Töpfen kein prinzipieller Unterschied vorhanden, nur daß in den flachen Töpfen an Wand und Boden weniger Wurzelmasse sich vorfindet als in den tiefen Töpfen.

Ergebnisse.

1) Das Wurzelsystem des Hafers blieb dem Typus nach in den seichten und tiefen Töpfen ungeändert, die unteren Lagen der Erde in den tiefen Töpfen waren ohne Anstand dadurch ausnutzbar, daß die Wurzeln zum Theil eine mehr abwärts gehende Richtung eingeschlagen haben. Bei den Ackerbohnen geschah die Ausnutzung der unteren Erde der tiefen Töpfe hauptsächlich durch Vermittelung der Pfahlwurzel, indem aus dieser die in den betreffenden Schichten verlaufenden Wurzeln entsprungen sind. Beim Hafer erforderte die Ausnutzung der Erde in den seichten Töpfen nur eine entsprechende Richtung des Wurzelverlaufs, bei der Ackerbohne dagegen trat eine Anpassung an die seichte Ernährung durch Abänderung der relativen Entwickelung der einzelnen Theile des Wurzelsystems ein, indem die Pfahlwurzel in der Entwickelung zurückblieb, während sich dafür die oberen Seitenwurzeln um so stärker ausbildeten.

2) Die Benachtheiligung des Pfahlwurzelwachsthums war ohne Nachtheil für die Entwickelung des oberirdischen Pflanzenkörpers, im Gegentheil sind sogar die Pflanzen der seichten Töpfe durchschnittlich höher, kräftiger, blattreicher geworden und begannen die Blüthen schon in den Achseln von weniger hoch am Stengel stehenden Blättern. Indessen hat dies mit dem abgeänderten Wurzeltypus kaum etwas zu thun, indem auch die Haferpflanzen der seichten Töpfe höher wurden und in den letzteren der Wurzelverlauf für die Ernährung günstiger war. Denn in den seichten Töpfen standen die Pflanzen weiter ab von der Topfwand, die Wurzeln hatten deshalb eine längere Strecke in der Erde zurückzulegen. Möglicherweise war die Vegetation der seichten Töpfe noch aus anderen Gründen befördert. Vielleicht kann die Gärtnerei für ihre Topfkulturen von dieser Erfahrung Gebrauch machen.

3) Das Verhältniß der schließlichen Stengellängen betrug:

	Tiefe Töpfe.	Seichte Töpfe.
Ackerbohne . .	100	121
Hafer	100	122.

In der Akkommodation an die seichte Erdlage läßt sich hier keine Bevorzugung des Hafers gegenüber der Ackerbohne erkennen. Die normale Entwickelung der Pfahlwurzel an sich war keine nothwendige Voraussetzung einer guten Entwickelung der oberirdischen Theile, ihre Funktionen konnten durch entsprechende Verstärkung der höheren Seiten-

wurzeln ebensogut ausgeübt werden. In den tiefen Töpfen war zwar die Pfahlwurzel auch schon in verhältnißmäßig geringer Tiefe von ihrem normalen Verlaufe abgelenkt, es war aber in den seichten Töpfen der Wurzelverlauf doch schon um so viel beträchtlicher abnorm gezwungen, daß man eine nachtheilige Wirkung hätte erwarten müssen, wenn die Pflanzen nicht im Stande gewesen wären, der seichten Krume sich anzupassen, und wenn die ungehinderte Entwickelung der Pfahlwurzel an sich von wesentlicher Bedeutung für das Höhenwachsthum wäre. War eine solche Beziehung zwischen Pfahlwurzelentfaltung und oberirdischem Wachsthum vorhanden, so war sie auf keinen Fall genügend, um auch nur die geringen Ernährungsdifferenzen, welche in den beiderlei Töpfen bestanden, unkenntlich machen zu können.

2. Kastenversuche.

Versuch 1. Analog den Kulturen in den Töpfen wurden Ackerbohnen und Hafer in zwei mit gleichartiger Erde gefüllten Kästen kultivirt, deren einer 36, der andere 15 cm tief war, während beide gleiche Erdmenge aufnahmen. Die Kästen waren in Erde eingegraben und selbstverständlich mit gleicher Samenzahl bei gleichem Abstande und gleicher Saattiefe (am 23. April) bebaut.

Erst Ende Mai traten Unterschiede hervor, indem die Bohnen des tiefen Kastens höher wurden als im seichten, während beim Hafer kein Unterschied war. Diese Bevorzugung der Bohnen des tiefen Kastens dauerte bis gegen Mitte Juni, von da ab glich sich der Höhenunterschied allmählich aus, und schließlich gewannen die Pflanzen des seichten Kastens die Oberhand.

Am 13. Juli wurden die Pflanzen, welche eben abgeblüht hatten, geerntet. Jene Stengel, welche länger geworden waren, waren ausnahmslos auch stärker in der ganzen Ausbildung und Produktion seitlicher Organe.

Durchschnittsstengellänge (mm):

	Tiefer K.	Seichter K.	Verhältniß.
1. Faba (20 Pflanzen)	1043	1201,5	100 : 115
2. Avena (25 u. 30 Halme)	1007,5	1055	100 : 104,7.

Bewurzelung.

Die Pfahlwurzeln verliefen in dem seichten Kasten bis zum Boden, wo sie sich umbogen und mit den Verzweigungen ein Geflecht bildeten.

Im tiefen Kasten waren Wände und Boden reichlicher von Wurzeln bedeckt als im seichten. Die Region stärkerer Seitenwurzelbildung an der Basis der Pfahlwurzel maß im Durchschnitt bei den Pflanzen des

tiefen Kastens . . .	132,4 mm
seichten Kastens . .	120,2 »,

dafür aber war die Ausbildung der oberen Seitenwurzeln im seichten Kasten deutlich reichlicher als im tiefen Kasten.

Ergebnisse.

1) Entsprechend der auch im seichten Kasten gegenüber den seichten Töpfen größeren Erdtiefe war die Beeinflussung des Wurzelsystems der Bohnen im seichten Kasten geringer als in den seichten Töpfen; wenn es den Pflanzen schon gelang, ihren Wurzelverlauf den seichten Töpfen ohne Nachtheil anzupassen, mußte dies im seichten Kasten noch viel leichter gelingen. Im tiefen Kasten reichte die stärkere Entwickelung von Seitenwurzeln weiter abwärts als im seichten Kasten, in welchem dafür die Pflanzen durch stärkere Entwickelung der oberen Seitenwurzeln sich zu behelfen wußten. Ein spezifischer Einfluß des auf längere Strecke vertikalen Verlaufs der Pfahlwurzel auf die Gesammtentwickelung läßt sich auch in diesem Versuch nicht erkennen.

2) Die Ackerbohnen waren anfänglich eine Zeit lang im tiefen Kasten bevorzugt. Es erklärt sich dies daraus, daß die aus der Pfahlwurzel entspringenden Seitenwurzeln zunächst in sehr günstigen Verhältnissen der Nahrungsaufnahme sich befanden, ehe sie die Kastenwand erreicht hatten, während in dieser Zeit die Pfahlwurzeln im seichten Kasten bereits am Boden verliefen, ihre Seitenwurzeln unterhalb 15 cm am Kastenboden, also in ungünstigen Verhältnissen der Nahrungsaufnahme, sich verbreiteten, andererseits aber bei der doch schon erheblichen Erdtiefe und der Möglichkeit, daß die Pfahlwurzeln ungestört wachsen konnten, längere Zeit verstreichen mußte, bis der Einfluß der beschränkten Nahrungsaufnahme auf die untere Wurzelregion sich bemerkbar machen konnte und Störungen des Pfahlwurzelwachsthums eintraten; erst von da ab konnte eine stärkere Entwickelung der oberen Seitenwurzeln Platz greifen und einen Ausgleich herbeiführen. Späterhin änderte sich das Verhältniß zu Gunsten des seichten Kastens, allerdings weniger ausgiebig als in den seichten Töpfen, nachdem die Wurzeln des tiefen Kastens die Wände erreicht hatten und

sich hier ein immer stärkerer Wurzelfilz zu bilden begann. Im seichten Kasten verlief ein größerer Theil der Wurzeln in der Erde selbst, ein geringerer überzog die Wandflächen, vielleicht bestanden auch sonstige Bedingungen, welche die Vegetation im seichten Kasten beförderten. Hat die vertikale Entwickelung der Pfahlwurzel an sich irgend einen spezifischen Einfluß auf das oberirdische Wachsthum, so kann derselbe vom praktischen Standpunkte höchstens so unbedeutend sein, daß er anderen, die Ausbildung des Wurzelsystems beeinflussenden Verhältnissen oder geringen Ernährungsdifferenzen gegenüber nicht von Belang sein kann.

3) Bei den Haferpflanzen fallen diese Verwickelungen weg, die Anpassung an die verschiedene Form des Bodenvolums geschah leicht durch Richtungsänderungen der Wurzeln. Es trat denn auch in keinem Stadium Bevorzugung in dem tiefen Kasten ein, sie erreichten schon im tiefen Kasten eine solche Höhe, daß bei den gegebenen Vegetationsbedingungen die bessere Ernährung oder sonstige fördernde Ursachen im seichten Kasten wenig sich bemerkbar machen konnten. In diesem Versuch machte sich sonach eine Bevorzugung des Hafers geltend in Bezug auf die Akkommodation an die seichtere Erdlage, indem dieselbe rascher geschah, während die Bohnen zu Folge ihres Wurzeltypus längerer Zeit hierzu bedurften.

Versuch 2. Die beiderlei Pflanzen wurden in einem ganz seichten Kasten mit nur 5 cm Erdtiefe am 23. April gesät. Die Erde war dieselbe wie bei Versuch 2, das verfügbare Erdvolum aber geringer.

Bis Ende Mai waren die Ackerbohnen gegenüber Versuch 1 wesentlich zurück, aber auch die Haferpflanzen standen schwächer, es war aber bei ihnen der Unterschied viel weniger beträchtlich. Sehr auffallend zeigte sich dies Verhältniß daran, daß bei Versuch 1 die Ackerbohnen wesentlich höher waren als die Haferpflanzen des nämlichen Kastens, während in dem ganz seichten Kasten der Höhenunterschied sehr gering war.

Das starke Zurückbleiben der Bohnen und das weniger starke des Hafers gegenüber Versuch 1 blieb weiterhin bestehen. Am 24. Juni waren in den Kästen des Versuchs 1 die Bohnen 15 bis 20 cm höher als der Hafer, in dem 5 cm tiefen Kasten aber nur um 6 bis 8 cm. Späterhin verminderte sich das Zurückbleiben der Bohnen, dieselben erfuhren eine unerwartete Kräftigung, gegenüber dem Hafer wurde die Höhendifferenz ähnlich wie bei Versuch 1.

Schluß des Versuchs am 13. Juli. Die Stengel messen im Durchschnitt mm:

Ackerbohnen (22 Pflanzen) .	995
Hafer (27 Halme)	913,5.

Bewurzelung.

Der Kastenboden ist bedeckt mit einem starken Wurzelfilz, die Haferpflanzen sind stark bewurzelt, es werden Stränge von über 1 m Länge mit noch gesunder Spitze freigelegt, neben den langen Wurzeln finden sich viele junge, neue, vorzugsweise aus jüngeren Trieben und Knoten. Da die Erdtiefe 5 cm beträgt, die Länge des bewurzelten Stocktheils aber höchstens 3 cm, ist das Wurzelsystem in seiner typischen Ausbildung nicht gehindert.

Die Pfahlwurzeln der Bohnen sind am Kastenboden scharf umgebogen. Die Bewurzelung ist wie gewöhnlich an der Pfahlwurzelbasis reichlicher, auf eine Länge von durchschnittlich 10 cm. Zu Folge der geringen Erdtiefe verlaufen die Wurzeln dieser Region mehr als zur Hälfte bereits am Kastenboden, die Region, welche die Seitenwurzeln in die Erde entsendet, ist demnach beträchtlich verkürzt.

Ergebnisse.

1) In diesem ganz seichten Kasten waren die Bohnen lange Zeit weit mehr benachtheiligt als die Haferpflanzen. Dies erklärt sich aus der Verschiedenheit der beiderlei Wurzelsysteme, in Folge dessen die Haferpflanzen auch der extremen Seichte sich leicht anpassen konnten, während sich die Bohnenpflanzen schon unter erheblich abgeänderten Verhältnissen zu behelfen hatten. In den tiefen und flachen Töpfen war die reich bewurzelte Region der Pfahlwurzel nur etwa 5 cm lang, die aus ihr entspringenden Seitenwurzeln konnten sich also auch in den nur 7 cm tiefen Töpfen in die Erde verbreiten, ohne sofort mit dem Topfboden in Berührung zu kommen. In dem seichten Kasten des vorigen Versuchs verhält es sich ähnlich und noch günstiger. Die Erdtiefe betrug 15, die Länge der reichen Bewurzelung 12 cm. In dem 5 cm tiefen Kasten war dagegen die Hälfte und mehr von dieser reichst bewurzelten Region an den Kastenboden versetzt. Die Möglichkeit, durch stärkere Entwickelung der oberen Wurzeln Ersatz zu leisten, mußte hiermit ebenfalls benachtheiligt sein, es dauerte denn auch viel länger, bis die Bohnen sich in der Entwickelung in ein ähnliches Verhältniß zu den Haferpflanzen setzten wie bei Versuch 1.

Es äußerte sich sonach bei Versuch 2 noch mehr als bei Versuch 1 ein Unterschied in dem Vermögen des Wurzelsystems der Ackerbohnen und des Hafers, seichtem Boden sich anzupassen, als Folge des verschiedenen Ortes, an welchem die beiderseitigen Wurzeln produzirt werden. Dabei ist Folgendes zu beachten. In den Töpfen betrug die

	Durchschnittslänge der Stengel.	Länge der reichst bewurzelten Region.
16 cm tief	835	53,75
7 » »	1010	51,25.
In den Kästen des Versuchs 1 und 2:		
36 cm tief	1043	132,4
15 » »	1201,5	120,2
5 » »	995	100.

Die Ueppigkeit der Entwickelung geht zwar in Folge der Akkommodationen mit der Länge der reichst bewurzelten Region nicht proportional, unverkennbar aber wird die Länge dieser Region durch tieferen Boden und bessere Ernährungsverhältnisse vergrößert. Es wird also auch bei sonst gleichen Bedingungen eine Bohnenpflanze auf seichterer gegenüber tieferer Krume um so mehr benachtheiligt sein, je mehr die sonstigen Vegetationsbedingungen eine üppige Entfaltung zulassen. Jene Grenze der Erdtiefe, unterhalb deren die Vegetation der Ackerbohnen durch ungünstige Situation der aus der Pfahlwurzelbasis reichlichst entspringenden Seitenwurzeln leidet, kann je nach Verhältnissen höher oder tiefer liegen.

2) Die Pfahlwurzel selbst kommt für den vorliegenden Versuch bloß insofern in Betracht, als sie den Ursprung der seitlichen Auszweigungen bildet. War sie bis auf ein zu kurzes Stück ausgeschaltet, so war die in der Erde verlaufende Wurzelmenge zu gering und der Ersatz an Wurzelmasse erschwert. War der Ersatz genügend bewerkstelligt, so erholten sich die Pflanzen auffällig, woraus zu ersehen ist, daß es nicht auf das Vorhandensein der Pfahlwurzel an sich, sondern nur auf die Bewurzelung überhaupt ankommt.

Diese Versuche beweisen sonach:

1) Daß die freie Gestaltung der Pfahlwurzel, verfolgt bis auf 36 cm Tiefe, an sich keine nothwendige Voraussetzung bestmöglichen Gedeihens der Ackerbohnenpflanzen ist;

2) daß die Ackerbohnen das Vermögen haben, durch zweckentsprechende Aenderung ihres Wurzelsystems sich auch sehr seichten Erdschichten anzupassen, ähnlich wie der Hafer, daß aber der letztere zu Folge seines Wurzeltypus sich seichter Erde leichter akkommodirt.

Daß das Wurzelsystem des Hafers in seinem Anpassungsvermögen vielseitiger ist als das der Ackerbohne, indem er nämlich unter Umständen auch eine tiefe Erdschicht ebensogut auszunutzen vermag wie die Ackerbohne, geht aus folgendem Versuch hervor.

Etliche Ackerbohnen- und Haferpflanzen wuchsen in einem 70 cm tiefen, mit humusreichem, lehmigem Sand gefüllten Kasten, der in die Erde versenkt war. Die Pflanzen entwickelten sich sehr kräftig. Bei der Ausschlämmung zeigte sich die Erde ihrer ganzen Tiefe nach reichlich von Wurzeln durchzogen. Die Wurzeln des Hafers drangen vom Stock aus vertikal oder schräg abwärts in die Erde[1]), ohne daß etwa die Bewurzelung im oberen Theil der Erde auffällig gehäuft war. Die Ausnutzung der Erde um den Stock ist aber dadurch gefördert, daß die sukzessiven Wurzeln vom Stocke ausgehen, nahe beisammen entspringen, während sie sich erst im weiteren Verlaufe von einander entfernen. Die Haferwurzeln fanden sich am Kastenboden ebenso reichlich vor wie die der Ackerbohnen. Die Pfahlwurzeln der Bohnen waren auf eine Länge von 10 bis 12 cm sehr reichlich, auf weitere 8 bis 10 cm ziemlich reichlich mit Seitenwurzeln besetzt, weiter abwärts waren sie spärlicher

[1]) Bei der Abwärtsrichtung der oberen dieser Wurzeln ist das Licht betheiligt. *E. Stahl* (Einfluß des Lichts auf den Geotropismus, Berichte der deutschen botan. Ges. II. S. 383) fand beim Mais, daß die aus der Basis der Keimstengel hervorwachsenden Wurzeln, welche bald horizontal, bald schief aufwärts vom Mutterorgan abstehen, durch das Licht in der Wachsthumsrichtung so beeinflußt werden, daß der Grenzwinkel (d. h. der Winkel, welchen sie mit der Vertikalen bilden und nach dessen Erreichung geotropische Krümmungen aufhören) bei Beleuchtung sich vermindert:

Grenzwinkel im Dunkeln.	Nach Beleuchtung.
45°	20°
50°	25°
90°	50°
110°	70°
110°	60°.

Der Einfluß des Lichts beschleunigt auch die Einleitung der geotropischen Krümmung.

vorhanden. Es läßt sich nicht erkennen, daß die Verschiedenartigkeit der Wurzelsysteme einen Einfluß auf die Ausnutzung der Erde ihrer ganzen Tiefe nach ausgeübt hätte.

Es ist aber nicht zu bezweifeln, daß die Ackerbohne unter Umständen den Vorzug des stärkeren Vermögens zur Ausnutzung tieferer Erdschichten hat, wenn dieselben nämlich nicht wie im Versuch locker, sondern erheblich fester sind. Die Pfahlwurzel der Ackerbohne ist kräftiger und weniger leicht vom vertikalen Wachsthum abzulenken, die Seitenwurzeln erster Ordnung sind auch meist stärker als die Adventivwurzeln des Hafers, ebenso die Auszweigungen der nächsten Ordnung gegenüber den Seitenwurzeln des Hafers, die Seitenwurzeln erster Ordnung entstehen auch bereits in der Tiefe und haben nicht erst nothwendig, wie die sukzessiven Adventivwurzeln des Hafers von oben her in die Tiefe vorzudringen. Der Bewurzelung der Ackerbohne wird es also noch möglich werden, in einem festeren Boden sich zu verbreiten, während wahrscheinlich jene des Hafers nur dann in gleichem Betrage die Tiefe ausnutzen, wenn sie locker ist oder genügend große Lücken enthält.

Trotz der in weiten Grenzen bestehenden Befähigung der beiderlei Pflanzen, Erdschichten verschiedener Tiefe ohne Bevorzugung durch den Wurzeltypus gleich ausgiebig auszunutzen, lassen sich demnach immerhin Verschiedenheiten konstatiren, welche auf dem verschiedenen Wurzeltypus beruhen, je nach Verhältnissen mehr oder weniger hervortreten und die Bewurzelung des Hafers als überwiegend seichteren, die der Ackerbohne als überwiegend tieferen Erdschichten angepaßt erkennen lassen.

b. Die Entwickelung der Ackerbohne mit und ohne Pfahlwurzel.

Ist im Vorigen festgestellt, daß die freie Gestaltung und möglichste Entwickelung der Pfahlwurzel nicht an sich die Voraussetzung bestmöglichen Gedeihens der Ackerbohne ist, indem für die Beschränkungen des Pfahlwurzelwachsthums bis zu einer gewissen Grenze die entsprechend stärkere Seitenwurzelentwickelung vollen Ersatz bieten kann, so wird hierdurch die Möglichkeit noch nicht beseitigt, ob nicht wenigstens die Gegenwart der Pfahlwurzel an sich aus inneren Gründen einen spezifischen Einfluß namentlich auf das Höhenwachsthum ausüben möchte; denn die Pfahlwurzeln waren ja in den sub a beschriebenen Versuchen

zwar eingeschränkt, aber immerhin noch vorhanden. Wie oben mitgetheilt, hat man in der Praxis mehrfach die Behauptung aufgestellt, Beseitigung der Pfahlwurzel führe zur Beeinträchtigung des Höhenwachsthums.

Die Versuche waren unter Verhältnissen vorzunehmen, unter denen die Versorgung mit Nahrung und Wasser in der Hauptsache die nämliche war. Hierzu eigneten sich Topfkulturen, bei welchen für die Ernährung hauptsächlich nur die im Topfraum verlaufenden Wurzeln in Betracht kommen. Die Pfahlwurzel erreicht bald den Topfboden, wo sie mit ihren Verzweigungen einen Filz bildet, der an der Ernährung kaum bemerklich sich betheiligen wird, so daß die Pfahlwurzel nur durch ihre Gegenwart an sich einen Einfluß auf das Stengelwachsthum ausüben könnte. War sie beseitigt und vermochten die Pflanzen aus dem Rest wenigstens so viele Wurzeln zu produziren, wie aus der unverletzten Pfahlwurzel in die Topferde entsendet wurden, so war gleich ausgiebiges Wachsthum zu erwarten, im Falle die Pfahlwurzel an sich, in dem früher gekennzeichneten Sinne, für die Ausgestaltung des Pflanzenkörpers ohne Bedeutung war.

Versuch 1. Aus gleichschweren Samen erzogene Ackerbohnenkeimlinge werden in großen, mit Torferde gefüllten Töpfen wachsen gelassen, bis die Stengel 11 bis 15 cm lang und meist 3 entwickelte Blätter vorhanden sind. Es gelingt leicht, die Wurzeln mit nur geringen Verletzungen aus der Torferde zu gewinnen. Länge der Pfahlwurzeln 20 bis 25 cm. Die Seitenwurzeln stehen gehäuft 8 bis 10 cm abwärts an der Pfahlwurzel, vorhanden sind solche (einschließlich der jüngsten Keime) auf 15 bis 18 cm Länge. Von diesen Pflanzen werden am 3. Juni je zwei gleichmäßig gewachsene Exemplare ausgesucht und

a) mit Schonung aller Wurzeln, namentlich mit unversehrter Pfahlwurzel,
b) nach Abstutzen der Pfahlwurzel bis zur reichlichst bewurzelten Basalregion

neuerdings in große, 20 cm tiefe Töpfe in Torferde eingepflanzt. Für eine Parallelreihe werden zur Behandlung nach a und b je 2 Exemplare mit etwas ungleich langen Stengeln ausgewählt und beim längeren die Pfahlwurzel gestutzt.

Stengellänge mm:

	3. Juni.		9. Juni.		14. Juni.		23. Juni.		1. Juli.	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
	145	143	195	200	237	235	335	345	575	620
	140	142	232	235	305	300	520	480	810	710
	110	110	180	185	222	237	410	395	610	680
Durchschnitt	**132**	**132**	**202**	**207**	**254**	**257**	**422**	**407**	**665**	**670**
	176	200	245	260	290	295	430	435	700	730
	80	98	150	175	200	235	345	390	620	680
Durchschnitt	**128**	**149**	**198**	**218**	**248**	**263**	**388**	**413**	**660**	**705**
Verhältniß	100	116	100	110	100	106	100	106	100	106.

Bewurzelung.

Stengellänge.	Länge der Pfahlwurzel.	Länge der reichst bew. basalen Region d. Pfahlw.
mm	mm	mm
575	530	150
810	650	80
610	350	70
700	510	160
620	620	120.

Die längeren Wurzeln verlaufen sämmtlich an der Wand resp. am Boden der Töpfe. Unterhalb der reich bewurzelten basalen Region, welche nirgends bis zum Topfboden hinabreicht, ist die Seitenwurzelbildung wesentlich schwächer, in dem am Topfboden verlaufenden Theil der Pfahlwurzel wird sie meist wieder reichlicher, ohne aber jene der basalen Region zu erreichen. Die Seitenwurzeln der Basalregion sind zum Theil 25 bis 30 cm lang. Der Schätzung nach beträgt die Bewurzelung der basalen Region $^2/_3$ und mehr der Gesammtbewurzelung. Für ein paar Pflanzen wurde das Verhältniß dem Gewichte nach (lufttrocken) bestimmt:

Gewicht der unteren Bewurzelung einschließlich der Pfahlwurzel.	Gewicht der oberen Wurzeln an 80 mm Pfahlwurzellänge, ohne das Pfahlwurzelstück.	Gewicht der ganzen Bewurzelung, ohne den dicken Basaltheil der Pfahlwurzel.	Die untere Bewurzelung beträgt von dem Gesammtwurzelgewicht.
mg	mg	mg	%
210	520	730	28,6
150	450	600	25,0
150	420	570	26,3.

Bei den Pflanzen mit gestutzter Pfahlwurzel zeigte sich die Entwickelung der Seitenwurzeln stark gefördert, es finden sich Seitenwurzeln von beträchtlicher Länge (bis 50 cm lang) und Dicke, die selbst wieder reichlicher verzweigt sind als bei den Pflanzen mit unversehrter Pfahlwurzel. Bei einer Pflanze wog die Bewurzelung lufttrocken (ohne das Pfahlwurzelstück) 635 mg. Bemerkenswerth ist, daß am Pfahlwurzelstummel das untere Ende in der Wurzelbildung sehr wenig oder gar nicht bevorzugt war[1]). Die längeren Wurzeln erreichen die Topfwand oder den Topfboden, das Wurzelgeflecht am Boden ist aber viel spärlicher als bei den Pflanzen mit unversehrter Pfahlwurzel.

Beim Vergleich der verschieden hoch und kräftig gewachsenen Pflanzen ergab sich, daß im Allgemeinen jene Pflanzen, welche am stärksten gewachsen waren, die reichste Bewurzelung hatten, ohne Rücksicht darauf, ob eine Pfahlwurzel vorhanden war oder nicht; fast allen Pflanzen war es nach dem Stutzen der Pfahlwurzel gelungen, durch die stärkere Ausbildung der Bewurzelung an der basalen Pfahlwurzelregion, welche ja auch bei den Exemplaren mit unversehrter Pfahlwurzel die reichste Bewurzelung trug, mindestens einen Ersatz für den Verlust des unteren Pfahlwurzeltheils zu beschaffen. Daß die Beseitigung der Pfahlwurzel an sich nachtheilig gewirkt hätte, kann nicht behauptet werden.

Wenn bis zum Abschlusse des Versuchs die Höhe und Stärke der Stengel bei Pflanzen mit Pfahlwurzel bedeutender wurde oder aber zurückblieb hinter dem Wachsthum der Vergleichspflanzen mit gestutzter Pfahlwurzel, so hängt dies zusammen mit dem zufälligen Betrag, in welchem sich das eine oder andere Wurzelsystem entwickelt hat. Abgesehen davon, daß sich in vorgerückterem Stadium die individuellen Verschiedenheiten stärker bemerkbar machen, ist es auch bei so weit entwickelten Pflanzen in den Topfkulturen nicht mehr möglich, daß den einzelnen Pflanzen desselben Topfes gleichmäßige Vegetationsbedingungen erhalten bleiben, indem schon die zufällige Art des Wurzelverlaufs im Topf von Einfluß ist. Die

[1]) Bei sonstigen Versuchen war die Wurzelbildung am unteren Pfahlwurzelende (nach Stutzen der Pfahlwurzel) schon gefördert, wenigstens dann, wenn die oberen Seitenwurzeln abgeschnitten worden waren. Auch zeigten diese unteren Wurzeln Neigung, sich abwärts zu richten; aber diese Wurzeln, welche die Pfahlwurzel ersetzen sollten, blieben immer viel schwächer als diese und haben geringere Energie des positiven Geotropismus.

geringere Entwickelung fand sich denn auch bei Pflanzen der Behandlung a ebenso wie bei denen der Behandlung b.

Waren die Stengel der Vergleichspflanzen ursprünglich ungleich zu Gunsten der Exemplare mit gestutzter Pfahlwurzel, so verminderte sich zwar anfänglich die ursprüngliche Differenz, sie glich sich aber nicht aus und blieb im Durchschnitt bald konstant. Der vermuthete Einfluß des Vorhandenseins der Pfahlwurzel an sich wäre also nicht einmal im Stande gewesen, solch' geringe Wachsthumsunterschiede zum Verschwinden zu bringen.

Die Entwickelung der Versuchspflanzen war beim Abschlusse des Versuchs bis zur Blüthe gediehen. Man könnte nun vermuthen, daß sich der allenfallsige Einfluß der Pfahlwurzel vielleicht später, in der schließlichen Höhe der Pflanzen, äußern konnte. Indessen trifft auch dies nicht zu, wie vielfache Ausgrabungen von Vergleichspflanzen auf dem Versuchsfelde ergaben. Die Pflanzen konnten so hoch und üppig, mit reichlichstem Hülsenansatz werden, wenn auch die Pfahlwurzel abgestorben war[1]), ebenso wie solche, bei welchen sie sich kräftig in die Tiefe verlängert hatte. Die reichlichere obere Bewurzelung nach dem Abstutzen der Pfahlwurzel kann sogar zum Vortheil gereichen, indem diese oberen Wurzeln die Krume stärker ausnutzen können.

Versuch 2. Nach demselben Verfahren wie im Versuche 1 erzogene Bohnenpflanzen wurden am 24. Mai im noch jüngeren Zustande mit unversehrter Pfahlwurzel resp. nach Stutzen derselben auf 4 cm in Topferde gepflanzt. Seitenwurzeln waren so gut wie nicht vorhanden, die Pfahlwurzeln maßen 12 bis 13 cm.

Schon nach einigen Tagen zeigten sich die Stengel der Pflanzen mit unverletzter Pfahlwurzel (a) gegenüber den ursprünglich gleich langen der Pflanzen mit gestutzter Wurzel (b) gefördert. Am 29. Mai wurden aus

---

[1]) Bei etlichen Versuchsfeldpflanzen wurde beobachtet, daß sich obere Seitenwurzeln nach einer Strecke horizontalen Verlaufs senkrecht abwärts gerichtet hatten. *J. Sachs* beobachtete, daß, wenn Seitenwurzeln einige Zeit bei niederer Temperatur unter bestimmtem Grenzwinkel gewachsen sind und dann bei höherer Temperatur weiter kultivirt werden, der Grenzwinkel sich vermindert, die Seitenwurzeln wachsen unter Bildung eines scharfen Bogens beinahe senkrecht abwärts. (*Sachs,* Arbeiten d. bot. Inst. z. Würzburg I. 623. *Stahl,* Berichte d. deutsch. bot. Ges. II. 396.)

Vergleichstöpfen einige Pflanzen behufs Untersuchung der Bewurzelung entnommen.

1. Pflanze mit unversehrter Pfahlwurzel, Stengellänge 45 mm. Die Seitenwurzeln reichen an der Pfahlwurzel 7 cm abwärts, gehäuft stehen sie auf 3 cm der Basis. Gesammtzahl der Wurzeln 30, längste 3 cm.

2. Pflanze mit gestutzter Pfahlwurzel, Stengellänge 40 mm. Am 4 cm langen Pfahlwurzelrest stehen 14 Wurzeln, längste 5 cm. Es läßt sich hierin zwar die Förderung der seitlichen Bewurzelung erkennen, die Gesammtwurzelmenge steht aber gegenüber der vorigen Pflanze stark zurück.

Stengellänge (mm):

	2. Juni.		9. Juni.		14. Juni.		20. Juni.	
	a	b	a	b	a	b	a	b
	115	100	278	227	350	295	590	350
	125	80	291	200	400	280	590	475
	123	75	250	208	340	305	510	480
	105	90	240	200	—	—	—	—
Durchschnitt	**117**	**86**	**265**	**209**	**363**	**293**	**563**	**435**
Verhältniß	100	70	100	77	100	80	100	77.

Zur Zeit des Versuchsabschlusses haben die Pflanzen 6 bis 7 entwickelte Laubblätter und bereits sichtbare Blüthenanlagen.

Am 20. Juni:

Stengellänge.	Pfahlwurzellänge.	Länge der reichst bewurzelten Region der Pfahlwurzel.
mm	mm	mm
590	450	80
590	350	90
510	300	90.

Die Seitenwurzeln der basalen Region sind zum Theil 20 bis 30 cm lang und reichlich verzweigt.

Bei den Pflanzen mit gestutzter Pfahlwurzel ist der 4 cm lange Pfahlwurzelrest reichlich bewurzelt, höchstens mit geringer Bevorzugung des unteren Endes. Die Seitenwurzeln sind zwar durchschnittlich stärker entwickelt, die ganze Wurzelmasse aber ist doch schwächer als bei den Pflanzen mit unversehrter Pfahlwurzel.

Es ist leicht zu verstehen, warum beim Versuch 2 das Stutzen der Pfahlwurzel nachtheilig wirken mußte. Die Pflanzen waren zur Zeit der Amputation noch jünger, ärmer an organischer Substanz und assimilirender Blattfläche, so daß es ihnen erschwert war, an Stelle der verlorenen Wurzeloberfläche neue zu produziren. Genügende Bewurzelung ist aber die Voraussetzung des oberirdischen Wachsthums. Der Vorsprung, welchen die Pflanzen mit unversehrter Pfahlwurzel hatten, konnte nicht mehr eingeholt werden. Die Pflanzen des Versuchs 1 besaßen dagegen zur Zeit des Stutzens der Pfahlwurzel bereits größere Blattfläche, sie waren schon kräftiger, hatten auch schon Seitenwurzeln von größerer Entwickelung an der Pfahlwurzel, welche ihnen überdies auf größere Länge (8 bis 10 cm) belassen wurde. Je kürzer das bleibende Stück der Pfahlwurzel, um so mehr muß die Reichlichkeit der Seitenwurzelbildung wenigstens verzögert sein, da diese ja von der Pfahlwurzel anhebt und sich von hier aus rascher vollziehen kann, als wenn die Beschaffung neuer Wurzelflächen durch Verlängerung der Seitenwurzeln und Verzweigung derselben geschehen soll. Wahrscheinlich ist aber bei der Bohne die Nebenwurzelbildung nicht nur verzögert, sondern die gesammte Nebenwurzelmasse überhaupt geringer, wenn der erzeugende Pfahlwurzelrest zu kurz ist und einer zu geringen Zahl von Nebenwurzeln erster Ordnung den Ursprung geben kann[1]). Auf keinen Fall läßt sich Versuch 2 in der Weise deuten, daß es der Wegfall der Pfahlwurzel war, der das Zurückbleiben des oberirdischen Wachsthums hervorrief, vielmehr handelt es sich ganz wie bei dem eingangs zitirten Vorkommniß (oben S. 236) nicht um die Wirkung der Pfahlwurzel an sich, sondern um die Wirkung der Wurzelbildung überhaupt.

Haben die unter a beschriebenen Versuche ergeben, daß normales, ungestörtes Wachsthum der Pfahlwurzel **an sich** keine nothwendige Bedingung bestmöglichen Gedeihens der Ackerbohnenpflanze ist, so lehren die eben mitgetheilten Ver-

[1]) Als Ackerbohnenpflanzen in einem 25 cm tiefen Kasten bei 12 bis 15 cm Stengellänge der Pfahlwurzel bis auf ein 4 bis 5 cm langes Stück beraubt wurden, blieben sie im Wachsthum erheblich zurück. Die durchschnittliche Stengelhöhe betrug 988, bei den Pflanzen mit unversehrter Pfahlwurzel 1065 mm. Der Pfahlwurzelrest war zu kurz, um eine ausreichende Bewurzelung und diese genügend rasch erzeugen zu können.

suche, daß die Pfahlwurzel ohne Schaden auch in Wegfall kommen kann, wenn in beiden Fällen eine genügende Entwickelung von Seitenwurzeln stattfindet. Nur insoferne ist die Gegenwart der Pfahlwurzel von Bedeutung, als sie der Ursprungsort der Seitenwurzeln ist, in Folge dessen die Gefahr besteht, daß die seitliche Bewurzelung zu gering bleibt, wenn die Pfahlwurzel in einer sehr seichten Erdschicht auf eine zu geringe Länge ihre Seitenwurzeln in die Erde entsenden kann, oder wenn sie auf eine zu geringe Länge gestutzt wird.

Daß umgekehrt die Pfahlwurzel das Vorhandensein oberer Seitenwurzeln nicht ohne Weiteres ersetzen kann, zeigte sich bei Versuchen mit Bohnen, an welchen die Seitenwurzeln der oberen Region geschont, die Pfahlwurzeln aber bis zum Ende der reich bewurzelten Region gestutzt waren, während bei anderen Pflanzen die Pfahlwurzeln erhalten blieben, die oberen Seitenwurzeln aber abgeschnitten wurden. Die beiderlei Pflanzen wurden in große Töpfe gepflanzt. Im Durchschnitt von je 10 Pflanzen erreichten dieselben bei der ersterwähnten Behandlung eine Stengellänge von 887, bei der anderen Behandlung von nur 815 mm. An Stelle der abgeschnittenen oberen Wurzeln waren bis zum Versuchsschlusse in dieser Region der Pfahlwurzel nur verhältnißmäßig wenige neue Wurzeln gebildet worden. Es war keine Abänderung der Wurzelverbreitung in dem Sinne eingetreten, daß das verfügbare Erdvolum ebenso ausgiebig ausgenutzt worden wäre wie bei Vorhandensein reichlicher Seitenwurzeln aus der Pfahlwurzelbasis.

c. Die Bedeutung der Pfahlwurzel für das Wachsthum der Ackerbohne.

Aus dem Nachweise, daß das normale Pfahlwurzelwachsthum an sich keine nothwendige Voraussetzung guter Entwickelung der Ackerbohnen ist, vielmehr die Pfahlwurzel bis auf ein so langes Stück entbehrt werden kann, daß noch eine genügende seitliche Bewurzelung ihren Ursprung finden kann, folgt natürlich nicht, daß die Pfahlwurzel eigentlich nutzlos ist, also auch die Kultur an deren guter Ausbildung überhaupt kein Interesse hätte. Wäre die Pfahlwurzel so vollständig bedeutungslos, so würde sie von den Pflanzen auch nicht produzirt werden.

1. Durch eine erhebliche Verkümmerung der Pfahlwurzel nimmt für die Pflanzen die Gefahr zu, bei stärkerer Luftbewegung umgerissen zu werden. Bei dem Bewurzelungstypus der Ackerbohne ist die Funktion, die Pflanze aufrecht zu erhalten, ein wichtiges Attribut der Pfahlwurzel, welches durch Seitenwurzeln wohl nicht in ausreichendem Maße ersetzt wird, wenn sich dieselben auch bei Verkümmerung der Pfahlwurzeln stärker entwickeln; wenigstens ist der Ersatz nicht genügend, wenn die Bohnen bei den günstigsten Produktionsverhältnissen zu Maximalhöhen heranwachsen. Die Pfahlwurzel verdickt sich auch mit fortschreitendem Höhenwachsthum des Stengels und Zunahme der aufrecht zu haltenden Last, sie dringt viel tiefer in den Boden ein, als die bei ihrer Verkümmerung geförderten oberen Seitenwurzeln, welche in der Hauptsache horizontal verlaufen. Manche Pflanzen trachten allerdings, nach Verlust der Pfahlwurzel einen Ersatz dafür auch in Bezug auf den Tiefgang zu beschaffen, indem beträchtlich erstarkende und in die Tiefe dringende Seitenwurzeln entstehen, der Ackerbohne fehlt aber dies Vermögen zum größten Theil, sie wird durch den Verlust der Pfahlwurzel zum ausgesprochenen Seichtwurzler. Beim Hafer werden während der ganzen Vegetationszeit sukzessive neue Wurzeln und höher an der Pflanze aufwärts greifend, ebenso von jedem neuen Sprosse erzeugt, und die so erzielte Verankerung im Boden genügt, um die auch geringere Last aufrecht zu halten. Höher und stärker wüchsige Pflanzen ohne Pfahlwurzel, z. B. der Mais, helfen sich durch entsprechend stärkere Adventivstützwurzeln, bei manchen Bäumen erhält die seitwärtsgehende Bewurzelung nach Verlust der Pfahlwurzel eine solche Ausdehnung, daß hierdurch ein für gewöhnlich genügender Windschutz geboten wird. Es würde zu weit führen, hier die mannigfachen Einrichtungen erörtern zu wollen, welche im Pflanzenreich den gleichen Zweck, Sicherung gegen Umwerfen, auf verschiedenem Wege zu erreichen bestimmt sind.

2. Bei Verlust der Pfahlwurzel und Beschränkung auf die obere Bewurzelung hängt die Pflanze vollständig ab von der Beschaffenheit und namentlich dem Wassergehalte der obersten Erdschichten. Daß die Pflanzen großen Nutzen durch die oberen Wurzeln erzielen, ergiebt sich daraus, daß solche reichlich erzeugt und oben auch späterhin noch lange Zeit neue Wurzelkeime produzirt werden. Die Tiefenverbreitung der Wurzeln mit Hülfe der Pfahlwurzel ist ohne Zweifel eine Anpassung an

die Nahrungs- und Wasseraufnahme, wobei je nach Umständen das eine oder das andere in den Vordergrund tritt. Wie wichtig die tiefe Bewurzelung in trockenen Perioden und Lagen ist, ist aus der Praxis durch vielfältige Erfahrung bekannt, am auffälligsten tritt es hervor unter extremen klimatischen und Bodenverhältnissen. Sehr lehrreiche Beispiele theilt *G. Volkens*[1]) aus der Flora der egyptisch-arabischen Wüste mit. Dort bedürfen die einjährigen Gewächse bei der vielmonatlichen Regenlosigkeit besonderer Mittel, um des Wassers überhaupt habhaft zu werden. Dasselbe versickert während der Regenzeit in größere Tiefen und wenn die undurchlassenden Schichten tief genug liegen, kann sich trotz der enormen Hitze dennoch so viele Feuchtigkeit erhalten, um die auf ein Minimum herabgesetzten Bedürfnisse der Vegetation zu decken. Die Pflanzen passen sich diesen Verhältnissen dadurch an, daß sie ungemein lange, senkrecht in den Boden hinabsteigende Wurzeln entwickeln. Keimpflanzen von Monsonia nivea hatten schon Ende Januar, wo sie aus einer kaum nagelgroßen Rosette von 3 bis 4 Blättchen bestanden, Wurzeln von über einem halben Meter. Ein kaum handhohes Exemplar von Calligonum comosum hatte eine oben daumenstarke Wurzel, $1^1/_2$ m unten war sie noch kleinfingerdick. Bei Gelegenheit der Ausgrabung des Suezkanals fand man auf dessen Sohle Wurzeln, die zu hoch oben auf den seitwärts gelegenen Höhen wachsenden Bäumen gehörten.

Bei Kulturgewächsen kommen hinsichtlich der Bedeutung der Pfahlwurzeln und der aus ihr entspringenden tieferen Seitenwurzeln einerseits die besonderen Verhältnisse der Kultur an sich in Betracht, andererseits ist zu bedenken, daß diese Pflanzenarten oft in weiter Ausdehnung und weit über ihr ursprüngliches Verbreitungsgebiet hinaus, dem sie durch ihre Bewurzelung angepaßt sind, kultivirt werden. Es kann der Fall sein, daß ihnen die Pfahlwurzel an ihren natürlichen ursprünglichen Standorten wie an allen diesen ähnlichen Kulturorten von Nutzen oder auch unentbehrlich ist, während dies beim Anbau an anderen Orten nicht der Fall zu sein braucht, oder die künstlich gebotenen Kulturbedingungen deren Ueberflüssigkeit in sich schließen können.

3) Während beim Hafer die fortgesetzt entstehenden Adventivwurzeln nur vom Stocke selbst ausgehen, an welchem durch die jüngeren

---

[1]) Sitzungsber. der Berliner Akad. 1886.

Knoten Herde fortgesetzter Wurzelbildung gegeben sind, diese Adventivwurzeln auch mehr oder weniger schräg oder auch senkrecht abwärts zu laufen vermögen, ist die Ausbildung der seitlichen Bewurzelung bei der Ackerbohne im Wesentlichen an die Pfahlwurzel und deren fortgesetzten Zuwachs gebunden. So weit der Stengel in der Erde ist, produzirt er zwar auch Wurzeln und lassen sich hier wie im älteren Theil der Pfahlwurzel bei Wurzeln vorgerückten Alters noch neue Wurzelanlagen entdecken. Aber diese Pflanzen verlaufen überwiegend horizontal, die Produktion ist auch im Verhältnisse zur Masse der Pflanzen nicht so beträchtlich wie beim Hafer, wo sich jeder neue Sproß selbstständig bewurzelt. Sollen tiefere Erdschichten für die Ernährung herangezogen werden, so ist die Pfahlwurzel der Ackerbohne unentbehrlich, weil ohne sie die Bewurzelung seicht bleibt. Und während die Wurzeln des Hafers der Hauptsache nach doch nur in lockeren Boden oder sonst vorgebildete Hohlräume in die Tiefe vorzudringen vermögen, ist aber, wie bereits oben angedeutet, die Pfahlwurzel der Bohne mit den erforderlichen Kräften ausgestattet, um beträchtlichere Hindernisse überwinden zu können.

Läßt man Wurzeln von Erbsen und Weizen auf einem dicken Brei von Modellirthon wachsen, so dringen die Wurzeln der Erbsen in diesen ein, während jene des Weizens auf der Oberfläche hinkriechen[1]). Die Wurzeln von Bohnen, Erbsen und ähnlichen Pflanzen mit dickeren, stärkeren Wurzeln drangen mit der Spitze in Quecksilber ein, die dünneren, biegsameren Wurzeln aber, z. B. von Weizen, krochen auf dem Quecksilber herum, ohne ihre Spitze eintreiben zu können[2]).

Für die Bohnen ist aber die Pfahlwurzel sogar auf lockeren Böden das unentbehrliche Mittel, um die tieferen Schichten ausnutzen zu können.

Die Ackerbohne kann auch ohne Pfahlwurzel üppigst gedeihen, wenn die seitliche Bewurzelung in der Krume reichlich Nahrung und Wasser vorfindet und der Standraum der Pflanzen nicht so gering bemessen ist, daß eine lebhafte Konkurrenz der Wurzeln benachbarter Pflanzen entsteht. Durch die Pfahlwurzel werden aber die Existenz- und Anbaumöglichkeiten erweitert, indem die Pflanzen noch unter Verhältnissen ein

---

[1]) *Ciesielski*, Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzeln. 1871.

[2]) *J. Sachs*, Wachsthum der Haupt- und Nebenwurzeln. Arbeiten des botan. Instit. z. Würzburg. 1873. Heft 3. S. 452.

gutes Gedeihen finden können, in welchen sie ohne Pfahlwurzel nur schlecht oder unsicher fortkommen könnten. In der Mehrzahl der Fälle kann es für Sicherheit und Ertrag der Kulturen nur von Vortheil sein, wenn durch die normale Ausgestaltung des Wurzelsystems und den tieferen Verlauf der Pfahlwurzel die Wasserversorgung gesichert und auch die tieferen Erdschichten zur Ernährung herangezogen werden. Je nach Verhältnissen wird die Bedeutung der Pfahlwurzel und ihrer tieferen Auszweigungen mehr in der Nahrungszufuhr oder mehr in der Wasserversorgung liegen.

Wie nothwendig die Pfahlwurzel der Ackerbohne für die Ausnutzung tieferer Erdschichten ist, und wie beträchtlich die Beiziehung tieferer Erdschichten unter Umständen für die Entwickelung vortheilhaft werden kann, ergiebt sich aus folgendem Versuch.

Bei einer größeren Zahl von 16 cm tiefen Töpfen (oberer Durchmesser 16, unterer 14 cm) wurde der Boden ausgeschlagen und wurden sie bis zum oberen Rande in Erde eingegraben und mit Erde gleichartiger Beschaffenheit gefüllt, der Untergrund der Töpfe war gute Gartenerde von der Beschaffenheit des Topfinhalts. Die Töpfe wurden mit Hafer und Ackerbohnen bestellt.

Die Pflanzen entwickelten sich gleichmäßig in den verschiedenen Töpfen. Am 12. Mai, als bei den Haferpflanzen 3 Blätter vorhanden waren, die Stengel der Ackerbohnen 4 bis 4,5, die Pfahlwurzeln 20 bis 30 cm lang waren, wurden bei der Hälfte der Töpfe alle Wurzeln abgeschnitten, welche über die untere Topffläche hinausreichten, worauf die Töpfe wieder in den früheren Stand gebracht wurden. (Töpfe a: untere Wurzeln vorhanden; Töpfe b: dieselben abgestoßen.)

Bis Ende Mai waren die Ackerbohnen der Töpfe b bereits deutlich zurück (durchschnittliche Stengellänge bei a 168, bei b 140 mm), beim Hafer war kein Unterschied bemerkbar. Am 13. Juni hatte die Blüthe in den Töpfen a begonnen, in den Töpfen b noch nicht. Erst von Mitte Juni ab blieben auch die Haferpflanzen in den Töpfen b etwas zurück, aber in viel geringerem Grade als die Ackerbohnen.

Am 17. Juli wurde der Versuch geschlossen. Die Pflanzen standen in voller Blüthe.

Durchschnittliche Stengellänge (mm):

	Ackerbohnen.	Hafer.
Töpfe a	1336	872,8
» b	973	826,3.
Verhältniß	137 : 100	105 : 100.

Der beträchtlicheren Höhenentwickelung entsprach überall eine stärkere Ausbildung der ganzen Pflanze.

Bewurzelung.

Ackerbohnen. In den Töpfen, an deren unteren Fläche die Pfahlwurzeln Mitte Mai abgestoßen worden waren, war eine reiche Wurzelmasse vorhanden, und die Wand mit einem dicken Wurzelfilz bedeckt. Der Pfahlwurzelrest war reich bewurzelt auf eine Länge von 90 mm der Basis; die hier entsprungenen Seitenwurzeln waren theilweise sehr lang und kräftig (Länge bis 50 cm). Diese obere Bewurzelung ist reichlicher, die einzelnen Wurzeln scheinen auch vegetationskräftiger als da, wo die Pfahlwurzel erhalten blieb. Während diese oberen Wurzeln nahezu horizontal blieben, waren vom unteren Pfahlwurzelende einzelne Fasern in den Untergrund gewachsen, aber in einer gegenüber der Gesammtbewurzelung sehr geringen Zahl, bei mehreren Pflanzen waren auch diese untersten Wurzeln noch sehr kurz, zum Theil eben hervorgebrochene Keime mit abwärts geneigter Richtung.

In den Töpfen, aus welchen die Pfahlwurzeln ungestört in den untenliegenden Boden eindringen konnten, maß die basale Region reichster Bewurzelung durchschnittlich ebenfalls ziemlich 90 mm; sie war aber schwächer, dementsprechend auch der Wurzelfilz an der Topfwand. Einzelne dieser obersten Wurzeln schienen auch in der Vegetationskraft geschwächt, einzelne waren auch ganz abgestorben, während dafür Stengel und Pfahlwurzel neue Wurzelkeime trieben, die Pfahlwurzeln waren tief in den Untergrund gedrungen (ausgegraben bis auf 25—30 cm Tiefe) und hier zwar spärlicher als in der obersten Region, aber immerhin noch mit einer erheblichen Zahl von Seitenwurzeln besetzt.

Hafer. Hier bestand kein Unterschied des Wurzelverlaufs in den beiderlei Töpfen, die Wurzeln drangen auch nach dem Abstoßen der erstgebildeten reichlich in die unterliegende Erde ein.

Ergebnisse.

1) Die Ackerbohnen wurden durch das Abstoßen der Pfahlwurzeln in einer Tiefe von 16 cm viel mehr benachtheiligt als der Hafer, was sich aus den Abänderungen in der Gestaltung der Wurzelsysteme verstehen läßt. Nach dem Abstoßen der Pfahlwurzeln verliefen die Seitenwurzeln der reichst bewurzelten obersten Region unverändert horizontal und verbreiteten sich im Topfe selbst. Von den weiter unten an der Pfahlwurzel entstehenden Seitenwurzeln zeigten zwar manche das Bestreben, als Ersatz der Pfahlwurzel in die Tiefe zu dringen, aber dieser Ersatz war nur ungenügend, zum Theil überhaupt erst in bereits vorgerücktem Entwickelungsstadium der Pflanzen eintretend. Die stärkere Entwickelung der oberen Seitenwurzeln konnte keinen Ersatz für die Verbreitung in die Tiefe bieten, weil die Wurzeln in dem beschränkten Topfraum verblieben und diesen stärker ausnutzten, was aber unmöglich die gute Nahrungsquelle ergänzen konnte, welche die Pflanzen mit unversehrter Pfahlwurzel in der fruchtbaren Untergrundserde fanden. Beim Hafer dagegen drangen die nach dem Abstoßen der ersten tieferen Wurzeln fortgesetzt aus der Stengelbasis neu entstehenden und sich abwärts wendenden Wurzeln reichlich in die Tiefe vor, so daß die Gegensätzlichkeit in der Bewurzelung der beiderlei Töpfe überhaupt nicht in dem Maße wie bei den Ackerbohnen zum Ausdrucke kam. Das Zurückbleiben der Halmentwickelung bezieht sich nur auf jene Halme, deren Wurzeln zur Zeit des Abstoßens bereits zum Theil über die untere Topffläche hinausgewachsen waren.

2) Für die Ackerbohne ist die Pfahlwurzel die unentbehrliche Voraussetzung zur ausgiebigen Ausnutzung tieferer Erdschichten, da ihre Befähigung, durch geeignet verlaufende kräftige Seitenwurzeln die Pfahlwurzel zu ersetzen, nur beschränkt ist. In obigem Versuche hat sich eigentlich der Hafer mehr als Tiefwurzeln verhalten als die Ackerbohnen, indem das Abstoßen der tieferen Wurzeln nicht gehindert hat, späterhin die Wurzeln reichlich in der Tiefe zu verbreiten.

Während in obigen Versuchen die nach Verlust der Pfahlwurzel eintretende reichlichere Seitenbewurzelung in Folge der beschränkteren Ernährung gegenüber den Vergleichspflanzen keinen Ersatz für die untere Bewurzelung bieten konnte, die Pfahlwurzel vielmehr für die bestmögliche Entwickelung unentbehrlich war, zeigte sich bei vielfach variirten sonstigen

Versuchen, z. B. an einzeln im freien Lande oder auch in großen Kästen wachsenden Pflanzen, Abstoßen der Pfahlwurzel in etwa 10 cm Tiefe ohne allen Nachtheil, die Pflanzen welkten auch bei starker Besonnung nicht und wurden schließlich so hoch, kräftig und hülsenreich wie unversehrte Individuen. Es war aber auch für den Wasserbedarf ausreichend gesorgt, die an Stelle der tieferen Wurzeln sich stärker entwickelnden seitlichen, oberen, fanden reichlich Nahrung und hatten Gelegenheit, sich nach Belieben und ohne Konkurrenz mit den Wurzeln von Nachbarpflanzen zu verbreiten. Erst bei zu starker Kürzung der Pfahlwurzel blieben die Pflanzen in der Entwickelung zurück, wofür die Gründe bereits oben erörtert wurden.

II. Die Akkommodation der Bewurzelung der Ackerbohne und des Hafers an verschiedene Vertheilung der Bodennahrung.

Zwei große, 50 cm tiefe Kästen wurden folgendermaßen vorbereitet:

1) Unten wird gute Gartenerde eingefüllt, darüber kommt eine 15 cm tiefe Schicht groben, rohen Sandes.

2) Unten wird Sand der genannten Beschaffenheit eingefüllt, darüber eine 19 cm tiefe (gemessen im zusammengesetzten Zustande) Schichte der guten Gartenerde.

Beide Kästen werden am 23. April mit Ackerbohne und Hafer besäet, selbstverständlich unter Beachtung aller für die Vergleichbarkeit der Kulturen wichtigen Voraussetzungen.

Bis zum 8. Mai stehen Ackerbohne und Hafer in Kasten 1 schwächer, die Haferpflanzen gegenüber Kasten 2 in höherem Grade als die Bohnenpflanzen.

Bis zum 17. Mai haben die Haferpflanzen in Kasten 2 bereits 3 breite Blätter, das dritte ist so lang und üppig wie das zweite, das vierte erscheint. Im Kasten 1 sind erst 3 schmale, lichter gefärbte Blätter vorhanden, das 3. ist viel kürzer als das zweite. Die Bohnen haben in beiden Kästen 3 Blätter, im Kasten 1 mit etwas geringerer Blattfläche. Das Zurückbleiben ist jedenfalls viel weniger auffällig wie beim Hafer.

Bis zum 21. Mai hat sich der Unterschied bei den Bohnen zu Ungunsten des Kastens 1 vergrößert (Durchschnittsstengelhöhe 105, im

Kasten 2 130 mm, Verhältniß 100 : 124). Die Haferpflanzen des Kastens 2 haben bereis 1, etliche sogar 2 Bestockungssprosse, während solche in Kasten 1 fast allen Pflanzen fehlen.

Späterhin wird das Zurückbleiben der Bohnen im Kasten 1 wesentlich auffälliger als beim Hafer, vielmehr vermindert sich bei letzterem der Unterschied.

Am 30. Mai beträgt die Durchschnittsstengellänge der Bohnen:

	mm.	Verhältniß.
Kasten 1	157	100
Kasten 2	194	123.

Bis zum 6. Juni ist der Unterschied in der Entwickelung des Hafers in den beiden Kästen fast ganz verschwunden, während die Bohnen des Kastens 1 auffallend schwächer und niedriger sind als in Kasten 2. Bis zum 10. Juni beginnen die untersten Blätter der Bohnen im Kasten 1 gelb und schwarz zu werden, wovon im Kasten 2 nichts zu bemerken ist.

Bis Mitte Juni beginnen die Bohnen im Kasten 1 sich verhältnißmäßig zu kräftigen, so daß der Unterschied gegenüber Kasten 2 geringer wird.

Am 8. Juli, wo die Pflanzen abgeblüht haben, wird der Versuch geschlossen.

Durchschnittsstengellänge mm:

	Kasten 1.	Kasten 2.	Verhältniß.
Ackerbohnen	1086,3	1126,2	100 : 103,6
Hafer	877,5	852,6	100 : 97,1.

Die längeren Stengel sind ausnahmslos auch stärker und üppiger in allen Theilen.

Bewurzelung.

Bei den Ackerbohnen war im Kasten 1 der Sand von horizontal verlaufenden Wurzeln reichlich durchzogen, die stärker bewurzelte Basalregion der Pfahlwurzel mißt durchschnittlich 90—100 mm und reicht nirgends in die fruchtbare Erde. Entlang den folgenden 60—70 mm der Pfahlwurzel ist die Bewurzelung noch ziemlich reichlich, die bessere Bewurzelung geht also 15—17 cm abwärts. Noch tiefer wird sie spärlicher, die fruchtbare Erde ist aber immerhin noch von einer ansehnlichen,

bis zum Kastenboden reichenden Wurzelmenge durchzogen. Im Kasten 2 ist das Bewurzelungsverhältniß in der oberen und unteren Schicht dasselbe, die reichstbewurzelte Basalregion mißt 70—90 mm, die Region der noch ziemlich reichen Bewurzelung 70—80, insgesammt demnach 140—170 mm.

Die Wurzeln des Hafers durchziehen in beiden Kästen reichlich die obere und untere Schicht; eine Anhäufung von horizontal verlaufenden Adventivwurzeln in der oberen Schicht ist nicht wie bei den Bohnen vorhanden, indem fast alle Adventivwurzeln in die Tiefe vordringen und mehr oder weniger den Kastenboden erreichen. Die horizontale und anders gerichtete Verbreitung geschieht durch die Seitenwurzeln der Knotenwurzeln.

Ergebnisse.

1) Ackerbohnen und Hafer verhielten sich in beiden Kästen abweichend. Anfänglich blieb der Hafer im Kasten 1 viel mehr zurück als die Bohnen, dann änderte sich das Verhältniß, indem die Haferpflanzen schon von Ende Mai ab in beiden Kästen ziemlich gleichen Stand bekamen, während sich bei den Bohnen im Kasten 1 erst von Mitte Juni ab der Unterschied gegenüber Kasten 2 zu vermindern begann. Schließlich erreichten oder übertrafen sogar die Haferpflanzen im Kasten 1 jene im Kasten 2, während die Bohnenpflanzen im Kasten 1 kürzer und schwächer blieben.

2) Dies verschiedene Verhalten erklärt sich aus der Verschiedenheit des Wurzelverlaufs und der Wurzelentwickelung. Die Keimlinge des Hafers sind schwächer als die der Bohnen. Während die letzteren mit ihrer Pfahlwurzel im Kasten 1 durch die Sandschicht hindurch in Bälde die gute Erde erreichten und aus dieser Nahrung zu entnehmen vermochten, hatten die Haferpflanzen anfänglich nur die schwachen Primordialwurzeln, es verging längere Zeit, bis aus den Bestockungsknoten Wurzeln produzirt und diese durch die 15 cm tiefe Sandschichte in gute Erde eingedrungen waren. Nachdem diese einmal erreicht war, nahm die Ernährung zu, hiermit die Produktion organischer Substanz, was wieder die Wurzelbildung beschleunigen mußte. Im Kasten 2 hatte der Hafer den Vortheil, daß die Adventivwurzeln und deren Auszweigungen sofort in ein nährreiches Medium gelangten, weshalb die Entwickelung beschleunigt war. Die Adventivwurzeln hielten sich aber in keinem Kasten

in der oberen Schicht, sie drangen in die Tiefe vor, im Kasten 1 in nährreiche Erde, im Kasten 2 in nahrungsarmen Sand. Der Reiz der Gegenwart der Nährstoffe wird wohl in der oberen Schicht des Kastens 2 die seitliche Bewurzelung der abwärtslaufenden Adventivwurzeln befördert haben; aber anscheinend bot dies keinen Ersatz dafür, daß im Kasten 1 eine untere, 35 cm tiefe Schicht guter Erde verfügbar war, während im Kasten 2 gute Erde von 19 cm Tiefe vorhanden war. Der Hafer gedieh denn auch im Kasten 1 etwas kräftiger als im Kasten 2, obwohl die ersteren Pflanzen den längere Zeit bestehenden Vorsprung der letzteren einzuholen hatten.

Während sonach beim Hafer im Kasten 1 nur ein geringer Theil der Wurzelmasse, nämlich die seitliche Bewurzelung der Adventivwurzeln, von der Nahrungsaufnahme der Hauptsache nach ausgeschlossen war, verhielt es sich anders bei der Ackerbohne. Hier entsprang auch im Kasten 1 die reichste Seitenbewurzelung aus der Basis der Pfahlwurzel, etwa 9—10 cm abwärts, und verlief diese Bewurzelung ganz wie im Kasten 2 in der Hauptsache horizontal in der betreffenden Erdschicht. Reichte sie auch etwas weiter an der Pfahlwurzel abwärts als im Kasten 2, so war diese Zunahme doch nur gering und jedenfalls war ein sehr erheblicher Theil der Nahrung aufnehmenden Wurzelfläche auf die Sandschichte beschränkt. Die Bildung der Seitenwurzeln geht nur allmählich von oben nach unten fortschreitend vor sich, die Pflanzen haben nicht ohne Weiteres an der tieferen, bereits in der guten Erde befindlichen Pfahlwurzelstrecke entsprechend rascher und reichlicher Seitenwurzeln produzirt, es dauerte vielmehr sehr geraume Zeit, bis endlich diese Bewurzelung unten in der guten Erde soweit entwickelt war, um mit der verbesserten Ernährung den Ackerbohnen des Kastens 2 nachkommen zu können. Es ist wohl möglich, daß sich diese Differenz bei längerer Vegetationszeit der Pflanzen allmählich noch weiter vermindert hätte, im vorliegenden Falle aber kam die untere Bewurzelung zu spät zu Stande, um die reichliche Nahrung unterhalb der Sandschicht ebensogut ausnutzen zu können wie der Hafer. Eben dadurch, daß die seitliche Bewurzelung, soweit sie nicht aus der Stengelbasis entspringt, aus der Pfahlwurzel hervorgeht, wird dieselbe, wie bereits hervorgehoben, unerläßlich für die Ausnutzung der Tiefe, während andererseits die auf die Pfahlwurzelbasis beschränkte reichste Bewurzelung auf den Nahrungsgehalt

der obersten Erdlage angewiesen ist, in der sie aus der Pfahlwurzel erzeugt wird. Das Vorhandensein von Nahrung in der Krume hat also für die Ackerbohne eine besondere Bedeutung, wenn ihr Wurzelsystem seine volle Wirkung entfalten soll. Der Umstand, daß die oberen Seitenwurzeln im Kasten 2 reichlich Nahrung fanden, war die Ursache, daß die Bohnen im Kasten 2 mit 19 cm guter Erde rascher und besser gediehen als im Kasten 1 mit 35 cm guter und lockerer Erde in nur 15 cm Tiefe. Die reichliche Bewurzelung der Pfahlwurzelbasis der Bohnen ist eine Anpassung an die der Ernährung überaus günstigen Verhältnisse in der obersten Erdlage. Diese oberen Wurzeln sind auch günstiger gestellt in Bezug auf die Zufuhr organischer Nahrung von oben her, der Zusammenhang zwischen den einzelnen Theilen des Wurzelsystems ist überhaupt viel inniger als beim Hafer, wo die Adventivwurzeln alle von den Knoten ausgehen, verschiedenen Sprossen angehören und die sukzessive entstehenden Wurzeln von den vorausgegangenen unabhängiger sind.

3) Der Versuch lehrt, daß der Hafer in Bezug auf die Ausnutzung der in einer tieferen Schicht vorhandenen Nahrung gegenüber den Bohnen bevorzugt war, indem er einen größeren Theil seines Wurzelsystems und diesen rascher der tieferen Ernährung zu widmen vermochte. Die Bohnen haben in höherem Grade auf den Nahrungsmangel in der obersten Schicht reagirt als die Haferpflanzen. Das Vorhandensein der Pfahlwurzel entscheidet bei diesen Verhältnissen allein nicht, vielmehr kommt das Verhalten der gesammten Bewurzelung in Betracht. Natürlich wäre auch dem Hafer gute Ernährung in der obersten Schicht (im Kasten 1) von Vortheil gewesen. Thatsächlich waren ja die Pflanzen im Kasten 2 längere Zeit hindurch voraus, unter Umständen hätte dadurch ein Vorsprung geschehen können, der von den Pflanzen des Kastens 1 nicht mehr einzuholen war. Je nahrungsärmer der Untergrund, um so mehr wird sich Nahrungsreichtum der Krume vortheilhaft bemerkbar machen. Wäre der Untergrund fest gewesen, so wäre auch wahrscheinlich der Hafer im Kasten 1 mehr benachtheiligt gewesen als die Bohnen. Zu erwähnen wäre noch, daß die in Folge der geringeren Ernährung in der oberen Schichte schwächeren Pflanzen auch den Untergrund weniger ausnutzen können als stärkere, indem die Pfahlwurzel langsamer wächst, schließlich überhaupt nicht so lange wird, auch weniger Verzweigungen macht.

Insofern ist gute Ernährung im Obergrunde ein Förderungsmittel für die bessere Ausnutzung des Untergrundes.

Schließlich sei in Kürze bemerkt — auf die Versuche selbst wird später zurückzukommen sein —, daß sich in Kästen mit der Füllung 1 und 2 gebauter Rothklee und englisches Raygras im Entwickelungsverhältniß genau so verhielten wie Ackerbohne und Hafer, wobei in Folge der geringen Samengröße die Unterschiede noch schärfer hervortraten. War oben Sand, so blieb das Raygras lange Zeit stark zurück gegenüber dem Kasten, der oben gute Erde hatte, weil es bei der geringen Größe der Keimpflanzen lange dauerte, bis der Sand durchwachsen und die Ernährung verbessert war. Mitte August stand aber das Raygras in dem Kasten mit oben Sand nicht mehr viel gegenüber jenem mit oben guter Erde zurück. Der Rothklee entwickelte sich von Anfang an in der Sandschichte ebenfalls sehr schwach, und es dauerte viel länger als beim Raygras, bis endlich eine Kräftigung eintrat. Mitte August, wo, wie bemerkt, das Raygras in dem Kasten mit oben Sand fast ebenso kräftig war wie in jenem mit oben nährreicher Erde, war der Klee im ersteren Kasten noch sehr viel schwächer. Es dauerte eben lange, bis die Pfahlwurzel im nährreichen Untergrunde Seitenwurzeln in genügender Ausdehnung produzirte, während die oberen Krumewurzeln im Sande blieben, der höchst nahrungsarm war. Es war sehr überraschend, dies Verhältniß zu beobachten, indem man doch eher umgekehrt eine stärkere Benachtheilung des Raygrases durch die obenauf befindliche 15 cm tiefe Sandschichte hätte erwarten mögen.

Neue Litteratur.

***K. Pappenheim.* Eine Methode zur Bestimmung der Gasspannung im Splinte der Nadelbäume.** Botan. Zentralblatt. Bd. XLIX. (1892.) Nr. 1—6.

1) Hydromechanische Betrachtungen.

2) Methode der Untersuchung.

Die Methode geht aus von der Fähigkeit des Holzes, bis zu einer erfolgenden Sättigung Wasser aufzunehmen, indem die Einsaugung von Wasser in frisches Holz nichts ist als die Hineinpressung desselben durch den äußeren Luftdruck, welche solange stattfindet, bis die in den Holzzellen enthaltenen Luftblasen diesem das Gleichgewicht halten. «Es schien mir möglich, mit Hülfe dieser Fähigkeit des Holzes zu dem gewünschten Ziele zu gelangen. Zu diesem Zwecke wäre zunächst erforderlich, frisches Holz zu wägen und es darauf in Wasser zu bringen, um ihm die Möglichkeit zu geben, durch Wasseraufnahme die Spannung seiner Binnenluft mit der Spannung der Atmosphäre auszugleichen. Nach vollendeter Saugung würde eine zweite Wägung die Menge, also auch das Volumen des eingedrungenen Wassers erkennen lassen, eine Größe, welche identisch ist mit der Verkleinerung des Volumens der Binnenluft. Wenn nun auch zunächst von diesem Luftvolumen nur das eine bekannt ist, daß es nach erfolgter Sättigung des Holzes Atmosphärenspannung besitzt, während sich aus obiger Gewichtszunahme nichts über die Luftmenge aussagen läßt, so gelingt es doch mit Hülfe verschiedener Methoden, den Luftraum im Holze zu bestimmen (so durch das Dörrverfahren). Wenn nun erst auf diesem oder einem anderen Wege die Luftmenge, gemessen bei Atmosphärenspannung, bekannt ist, so ergiebt sich durch Addition des zuerst bestimmten Wasservolums das Volumen, welches die Binnenluft im verdünnten Zustande eingenommen hat.» Die Methode setzt aber voraus, daß der durch die Atmosphäre ausgeübte Druck so bedeutend sei, daß im Verhältnisse zu diesem die Widerstände, welche das Wasser in den Filterwänden zu überwinden hat, vernachlässigt werden dürfen. Um diese Schwierigkeit zu umgehen, wurde das frische Holz nach der Bestimmung seines absoluten Gewichts in ein Gefäß mit Wasser gebracht und auf dieses eine gewisse Zeit hindurch ein Ueberdruck von mehreren Atmosphären ausgeübt. Nach Aufhebung dieses Druckes war abzuwarten, bis die komprimirte Binnenluft sich wieder auf Atmosphärenspannung ausgedehnt und alles überschüssige Wasser aus dem Holz getrieben hatte. Diese Kompression der Binnenluft konnte in der Weise ausgenutzt werden, daß man das Dörrverfahren nicht anzuwenden brauchte, indem die nach Aufhebung des Ueberdrucks das Holz verlassenden Wassermengen gemessen wurden.

3) Ueber die Beweglichkeit des liquiden Wassers im Splintholze.

Nach den bisherigen Filtrationsversuchen sind bei frischem, jungem und wasserreichem Splintholze nur äußerst geringe Druckkräfte erforderlich, um das

in ihm enthaltene Wassernetz zu verschieben. Indessen lassen sich triftige Bedenken beibringen, ob diese Versuche zum Verständniß der Wasserbewegung im lebenden Baume beitragen. Besonders ist hervorzuheben, daß das Verhalten frischen Holzes im Wasser mit der Lehre von der großen Beweglichkeit des Wassers im Widerspruch stehen. Man müßte bei der Verdünnung der Binnenluft im Splintholze erwarten, daß die Atmosphäre in kurzer Zeit die Binnenluft auf Atmosphärendruck komprimiren könnte, was aber nicht der Fall ist. Verf. hat wegen der Wichtigkeit der Kenntniß jener Zustände, welche die Einsaugung des Wassers in so hohem Grade erschweren, für das Verständniß der Wasserbewegung im Holze dieses Phänomen näher untersucht.

Bei den Versuchen zeigte sich, daß die Intensität der Saugkraft sehr langsam sank und daß zu einer vollständigen Sättigung sehr lange Zeit erforderlich war. Die Ursache der Verlangsamung des Wassereintritts könnte in anatomischen Verhältnissen gesucht werden, speziell darin, daß die Tori der Schließhäute der verletzten Tracheiden durch den Atmosphärendruck an die eine der Tüpfelwände gepreßt werden und dadurch die Hoftüpfel für Luft und Wasser verschließen. Zufolge der Differenzen der einzelnen Schließmembranen bezüglich ihres Elastizitätsgrades könnte der Ueberdruck zur Verschließung einzelner Hoftüpfel nicht genügt haben, und an diesen Stellen könnten die geringen Wassermengen eingedrungen sein. Hiernach könnte das Wasser im Holze wirklich so beweglich sein, wie es nach den Filtrationsversuchen zu sein scheint, ohne daß in Folge des Tüpfelverschlusses durch Atmosphärendruck genügende Wassermengen in das Holz eindringen können.

Bei der Anwendung stärkerer Ueberdrucke verhält sich freilich das Holz anders, indem erhebliche Wassermengen in das Holz dringen und nach Herstellung des normalen Druckes darin verbleiben.

Indessen ergaben weitere Versuche, daß die Annahme eines Hoftüpfelverschlusses die Schwierigkeit der Bewegung des Binnenwassers, also auch das Phänomen der Saugverzögerung nicht zu erklären vermag, denn die behauptete Beweglichkeit des liquiden Wassers im lebenden Stamme läßt sich auch dann nicht konstatiren, wenn der möglicherweise störende Einfluß der Hoftüpfel ausgeschaltet wird. Es müssen daher die Widerstände für eine ausgiebige Bewegung des Wassers im I n n e r n des Holzkörpers gesucht werden. Wie Verf. eingehend dargelegt, handelt es sich um den Luftgehalt der Tracheiden. Das Binnenwasser bildet keine zusammenhängenden Fäden, sondern durch Luft isolirte einzelne Gebiete (nach *Schwendener*), eine Vorstellung, welche Verf. experimentell zu beweisen sucht. Sobald im Splintholze das Wasser durch Luft in einzelne Gebiete zerlegt ist, zwischen denen jede Kommunikation fehlt, dann ist es leicht verständlich, wie schon durch einen verhältnißmäßig geringen Luftgehalt des Holzes eine ausgiebige Wasserbewegung unmöglich gemacht ist. Auch das Gelingen des *Th. Hartig*schen Tropfenversuchs hängt von der Existenz kontinuirlicher, das ganze Versuchsholz durchziehender Fäden ab.

Die Frage der Funktion der Hoftüpfel ist noch nicht erledigt. Einstweilen läßt sich nichts angeben über die physikalische Veränderung, welche die Tüpfelschließhaut beim Tüpfelverschlusse erleidet; sicherlich sind ihre physikalischen Eigenschaften weit komplizirter, als man bisher angenommen hat.

4) Resultat der Spannungsbestimmungen.

Nachdem das Wasser im Splintholz in Folge der Vertheilung von Luft und Wasser relativ unbeweglich ist, nach den Untersuchungen die Binnenluft in allen Regionen der jüngeren Jahrringe des Stammes eine negative, von der Stammhöhe unabhängige Spannung besaß, erwacht mit der Schwierigkeit der Erklärung des Saftsteigens zugleich die Frage nach der Entstehung der Binnenluftverdünnung. Solange man glaubte, daß die Transpirationssaugung im Stande wäre, ein bis in die Wurzeln kontinuirlich verlaufendes Wassernetz zu haben, bot eine Erklärung der Entstehung luftverdünnter Räume in der Pflanze keine Schwierigkeit, während nunmehr von der Einwirkung der Transpirationssaugung auf die Wasserbewegung im Stamme gänzlich abgesehen werden muß.

«Zu der Ansicht von *Nägeli* und *Schwendener*, daß im Stamme noch andere auf zahlreiche, naheliegende Punkte vertheilte Kräfte, vermuthlich innerhalb der Markstrahlen, wirksam sind, lieferte *Russow* durch seine Untersuchungen über die einfach und doppelt behöften Poren eine wichtige Stütze.... Wir müssen uns zunächst mit der Vorstellung begnügen, daß jede Markstrahlzelle in Folge eines von den transpirirenden Flächen ausgehenden Reizes das Wasser von tiefer gelegenen Stellen nach höher gelegenen zu heben vermag. Es liegt am nächsten, sich die Thätigkeit dieser Zellen als eine konstante vorzustellen. Betrachten wir eine kleinere Gruppe von Markstrahlen bezüglich des Effekts ihrer Thätigkeit, so wird durch sie ceteris paribus eine Hebung des Wassers erfolgen, ohne daß die Binnenluft ihrer Menge und Spannung nach irgend welche Veränderungen erleidet. Nun besitzen aber feuchte Zellmembranen eine geringe Permeabilität für Luft; für die Dauer wäre also die Existenz eines im Holze befindlichen Luftvolums negativer Spannung nicht möglich, wenn nicht durch eine Einrichtung eines fortwährenden Luftverbrauchs für das Fortbestehen der Luftverdünnung Sorge getragen wäre.... Der Luftzufuhr steht ein Luftverbrauch gegenüber, welcher durch die Athmung der lebenden Zellen und durch die Absorption der dadurch erzeugten Kohlensäure bedingt ist.... Gegenüber der Annahme einer gleichsinnigen und in gleicher Intensität wirkenden Verrichtung ist die Möglichkeit einer periodisch wirkenden gemacht worden, doch läßt sich zur Zeit nicht viel zu Gunsten dieser Ansicht anführen.»

Als Hauptresultat ergeben sich folgende Sätze:

1) Die Binnenluft in den Splintholztheilen, welche nicht unter dem unmittelbaren Einflusse der Transpiration der Blätter stehen, besaß bei der von mir untersuchten Tanne in allen Baumhöhen einen annähernd gleichen Grad negativer Spannung, welche etwa $^3/_4$ bis $^4/_5$ Atmosphäre beträgt. Eine mit der Höhe zunehmende Verdünnung war nicht vorhanden.

2) Das liquide, im Innern der Tracheiden befindliche Wasser bildet keine, den ganzen Stamm von der Krone bis zur Wurzel durchziehende Fäden. Die Wassermassen sind durch Luft von einander getrennt. Die Möglichkeit einer Wasserbewegung zwischen Luftblase und Holzwandung konnte experimentell nicht nachgewiesen werden.

3) Durch die Kommunikation von Wassersäulchen, die benachbarten *Jamin*schen Ketten angehören, kommen kontinuirliche, nur von den sehr permeablen Hoftüpfelmembranen durchsetzte Wasserfäden in begrenzter Zahl und Länge zu

Stande. Die Größe der dadurch bestimmten Wassergebiete kann experimentell festgestellt werden.

4) Unsere Kenntniß von den physikalischen Eigenschaften der Schließmembranen in den behöften Tüpfeln ist noch so mangelhaft, daß zur Zeit die Aufstellung einer Theorie über die Funktion der Hoftüpfel unmöglich ist. *C. K.*

***W. Pfeffer*. Studien zur Energetik der Pflanzen.** Abhdlg. d. math.-physik. Klasse der K. Sächs. Gesellsch. d. Wiss. Bd. XVIII. (1892.) Nr. III. S. 151—276.

Die Pflanzenphysiologie verdankt in dieser umfangreichen Schrift dem Verf. den Versuch einer «Energetik der Pflanze», eine allgemeine Darstellung vom Gewinn von Energie im Organismus und von der Erkenntniß der Mittel und Wege, vermöge deren Energie zum Betriebe physiologischer Leistungen nutzbar gemacht wird. Da das Prinzip des Kraftwechsels alle Lebensvorgänge beherrscht und gründlichste Kenntniß dieser Vorgänge die Vorbedingung ist, wenn die empirische Forschung zur Aufklärung und richtigen Deutung des kausalen Zusammenhangs der Lebensvorgänge gelangen soll, liegt die hohe Bedeutung eines auf exakte Erwägungen begründeten, weiten Ausblicks auf dies ganze, große Gebiet auf der Hand. Im Werke finden sich auch zahlreiche kritische Erläuterungen über gewisse neuere und neueste Arbeiten, welche das wichtige Verständniß verschiedener Lebenserscheinungen ermittelt zu haben behaupten, während nach den Darlegungen des Verf. Manches doch in anderem und weniger günstigem Lichte erscheint.

Bei diesem Inhalte ist es auch nicht möglich, ein gewöhnliches Referat von der Schrift zu fertigen, vielmehr kann dem Interessenten nur durch das eingehende Studium des Originals selbst gedient sein.

Inhaltsübersicht:

A. Allgemeiner Theil.
- I. Einleitung.
- II. Allgemeines über Leistungen und Energiepotentiale.
- III. Beziehungen zwischen Stoffwechsel und Leistungen.
- IV. Einführung von Energie in die Pflanze.
- V. Rückblick.

B. Spezieller Theil.
- VI. Leistungen in Wachsthums- und Bewegungsvorgängen.
- VII. Blicke auf die Wachsthumsmechanik.
- VIII. Leistungen in lokomotorischen Bewegungen.
- IX. Die Betriebsenergie in der Wasserbewegung.
- X. Die Betriebskräfte in der Stoffwanderung. *C. K.*

***W. Pfeffer*. Ueber den Einfluß von Zugkräften auf die Festigkeit und die Ausbildung mechanischer Gewebe in Pflanzen.** Berichte der K. Sächs. Gesellsch. d. Wiss. Sitzung vom 7. Dezember 1891. S. 638—648.

Bei den im botanischen Institut zu Leipzig ausgeführten Versuchen von *R. Hegler* ergab sich, daß ein mechanischer Zug eine sehr erhebliche Zunahme

der Festigkeit veranlaßt, indem in den wachsenden oder noch bildungsfähigen Theilen insbesonders die vorhandenen mechanisch wirksamen Elementarorgane an Wanddicke und Zahl gewinnen oder auch indem bis dahin fehlende Gewebe hinzugefügt werden. Hypokotyle, Keimstengel und sonstige Stengel, Blattstiele, Ranken u. s. w. gaben übereinstimmend dieses Ergebniß, etiolirte Pflanzen ebenso wie beleuchtete. Gleichzeitig mit der Vermehrung mechanischer Elemente veranlaßt der Zug Verlangsamung des Längenwachsthums.

Der mechanische Zug wirkt also gleichzeitig in zwei Richtungen als Reiz, welcher die beeinflußten Organe veranlaßt, sich auf einen Gleichgewichtszustand hinzuarbeiten. In den affizirten Organen wird die Thätigkeit der Pflanze in neue Bahnen gelenkt derart, daß Vermehrung gewisser Gewebe und Wandverdickungen resultiren, welche auch zu einer absoluten Steigerung der Produktion von Wandsubstanz führen können. Bei aller Korrelation sind aber doch Wachsthumshemmung und mechanische Verstärkung als zwei besondere Reizerfolge anzusprechen, die sich nicht nothwendig gegenseitig bedingen. In der That kommt es bei einfacher Wachsthumshemmung, also ohne Zugsteigerung, nicht zu geförderter Ausbildung mechanisch wirksamer Elemente. Andererseits liegt in der Wandverdickung nicht eine rein mechanische Ursache der Wachsthumshemmung, denn diese stellt sich ein, bevor jene erheblich wurde, und obgleich der auf die Zellwände wirksame Längszug zunächst gesteigert wird.

Da Reizbarkeit und Reizerfolg durchaus von den spezifischen Eigenschaften des Organismus abhängen, darf man für die behandelten Verhältnisse auch keine Allgemeinheit fordern, es braucht auch nicht jede Wandverstärkung und Gewebeproduktion an solche Reizwirkung gekettet zu sein.

«Die besprochene Reaktion ist wiederum eines der vielen Beispiele einer zweckentsprechenden Selbstregulation im Organismus, der in diesem Falle nach Maßgabe der Inanspruchnahme oder des Gebrauchs die Festigkeit gerade der stärker angespannten Theile vermehrt und demgemäß auch gewisse anatomische Differenzen ausbildet.»

Die Ergebnisse geben Anlaß zu weiten Ausblicken auf die Wirkung von Zugspannungen überhaupt im Pflanzenkörper. *C. K.*

C. Correns. **Ueber die Abhängigkeit der Reizerscheinungen höherer Pflanzen von der Gegenwart freien Sauerstoffs.** Tübinger Habilitationsschrift. Tübingen 1892. 151 S.

So zahlreiche Untersuchungen auch über das Verhalten der höheren Pflanzen bei verminderter Partiärpressung des Sauerstoffs und im sauerstofffreien Raume vorliegen, so wenig Sicheres ist bis jetzt bekannt über das Verhalten reizbarer Organe unter den genannten Verhältnissen. Bezüglich der Fragestellung unterscheidet Verf. für die Zwecke seiner Untersuchung als erstes Glied der Kette von Phasen, welche vom gereizten Organ durchlaufen werden, die Reizperzeption von Seite des Protoplasmas und als übrige Glieder die Reizreaktion. Die Anwesenheit von Sauerstoff könnte für beide Phasen in anderer Weise Vorbedingung sein, sei es, daß für jede verschiedene Mengen von Sauerstoff nöthig wären oder nur die eine oder die andere Sauerstoffgegenwart

voraussetzte, oder daß beide hiervon unabhängig wären; im Vakuum könnte auch durch Schädigung anderer Funktionen eine Sistirung eintreten. War daher festgestellt, daß ein reizbares Organ im sauerstofffreien Raume nicht mehr reagirt, so mußte man versuchen, ob Perzeption oder Reaktion oder beide lahm gelegt waren.

Im Einzelnen werden die Versuchsergebnisse mitgetheilt, welche an folgenden Objekten resp. Bewegungserscheinungen erzielt wurden:

1) Reaktionsbewegung, auf Turgor allein beruhend.

Mimosa pudica. Berberis. Helianthemum. Mimulus. Cynareen. Schlafbewegungen.

2) Reaktionsbewegung, auf Wachsthum, mit oder ohne Turgoränderung, beruhend.

Schlafbewegungen. Drosera. Ranken. Geotropismus. Heliotropismus.

Hieran schließen sich

3) Mittheilungen über Abhängigkeit einiger weiterer Funktionen von der Gegenwart freien Sauerstoffs.

Allgemeinere Ergebnisse.

Genügt auch das Material zur erschöpfenden Erörterung der Rolle des Sauerstoffs beim Zustandekommen der Reizbewegungen nicht, so ergeben sich immerhin einige Anhaltspunkte zur Beurtheilung des Antheils des Sauerstoffs. Zunächst ergiebt sich, daß die verschiedenen Typen von Reizerscheinungen auch die Gegenwart von verschieden großen Sauerstoffmengen zur Ausführung der betreffenden Bewegungen beanspruchen. Z. B. reagirten die Tentakeln des Droserablattes noch bei so minimalen Spuren von Sauerstoff, daß man behaupten kann, derselbe sei entbehrlich, während die Ranken der Passionsblume noch 6% der ursprünglichen Sauerstoffmenge erfordern, um auf Berührung mit einer Krümmung zu antworten. Die Ursache für diese Unterschiede im Verhalten liegt zum Theil gewiß in dem verschiedenen Sauerstoffbedürfniß der verschiedenen Pflanzenspezies, wie z. B. Keimlinge von Helianthus geotropisch noch mit Spuren von Sauerstoff reagirten, während andere mehrere Prozent hiervon bedurften. Aber außerdem wird die Reizperzeption oder Reaktion verschieden große Anforderungen stellen, typisch für die bestimmte Reizwirkung. So erfordert bei gleichem Objekt im luftverdünnten Raum der Heliotropismus viel mehr Sauerstoff als der Geotropismus.

Der Entscheidung, wie sich die Sauerstoffgegenwart zur Reizperzeption und Reaktion verhält, treten praktisch meist unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen. Für einen Typus der Reizerscheinungen (Einrollen der Ranken von Sicyos) wurden aber Anhaltspunkte dafür gefunden, daß die beiden Phasen in der That neben einander als zwei von einander unabhängige Prozesse bestehen können, indem die Einrollung noch bei einem Sauerstoffgehalt ausgeführt wird, der für die Reizperzeption nicht mehr ausreicht.

In den meisten Fällen ist es noch nicht entschieden, ob zur Ausführung der Reizwirkung die Gegenwart des Sauerstoffs direkt nöthig ist (ob er selbst ein Rädchen im Getriebe des Uhrwerks der Reizerscheinung ist), oder ob er indirekt eingreift, indem er zur Herstellung oder Erhaltung eines oder verschiedener der

Rädchen erforderlich ist. Nur für einzelne Objekte (Droserablatt) läßt sich mit einiger Bestimmtheit angeben, daß der Sauerstoff nur indirekt nöthig sei. Es ist wohl auch das Wachsthum in die Kategorie zu stellen, welche ohne die direkte Betheiligung fertig wird.

Dauert der Sauerstoffentzug etwas länger, so beeinflußt er die Pflanzen mehr oder weniger schädlich, bei genügend langer Dauer wird das Leben vernichtet. Vorher erscheint stets ein abnormer Zustand, in welchem die Reizbarkeit erloschen oder herabgesetzt ist, die Vakuumstarre, welche nicht sofort wieder nach der Rückkehr in atmosphärische Luft aufgehoben wird.

Ein Einblick, auf welche Weise der Sauerstoffentzug die Reizerscheinungen hemmt, besteht zur Zeit nicht. Da mit dem Erlöschen der normalen Athmung die Hauptkraftquelle verloren geht, könnte man dies als Ursache anzusprechen geneigt sein. Es ist aber bereits wenigstens eine Reaktion bekannt (bei Drosera), bei deren Zustandekommen diese Kraftquelle nicht nöthig ist; die Energie muß also auch auf anderem Wege gewonnen werden können. Es ist auch sehr wahrscheinlich, daß unter gewissen Bedingungen gewisse Funktionen auch bei Phanerogamen, ähnlich wie bei Anaerobien, bei Sauerstoffabschluß fortdauern.

C. K.

***H. Rodewald.* Ueber die durch osmotische Vorgänge mögliche Arbeitsleistung der Pflanzen.** Berichte der deutsch. bot. Ges. Bd. X. H. 2. S. 83—93.

«Zu wiederholten Malen hat *Pfeffer* darauf aufmerksam gemacht, daß durch osmotische Prozesse in und von der Pflanze Arbeit geleistet und auch freie Wärme in Arbeit verwandelt werden kann. Es ist der Zweck dieser Arbeit, zu untersuchen, wie groß sich die osmotische Arbeitsleistung unter bestimmten physiologisch wahrscheinlichen Annahmen gestaltet und wann und zu welchem Antheil die äußere freie Wärme dabei in Arbeit übergeht.»

Die Berechnungen ergeben Folgendes:

In Wasser schwimmende Pflanzen können, wenn sie bei einer Temperatur von 15° ein Kilogramm-Molekül Rohrzucker verathmen, ohne weiteren Stoffumsatz durch Vermittelung von osmotischen Prozessen mit oder ohne Aufnahme freier Wärme höchstens eine Arbeit von 2920320 Kilogramm-Meter oder 6895 Cal. leisten d. h. nur 0,521 pCt. der gesammten Verbrennungswärme des Kilogramm-Moleküls Rohrzucker. Diese Verhältnißzahl gestaltet sich bei anderen Kohlehydraten fast gleich.

Freie Wärme kann in untergetauchten Wasserpflanzen durch osmotische Prozesse in Arbeit verwandelt werden, doch kann die osmotische Arbeitsleistung der Zelle dann kein Maximum sein.

Wird in einer Zelle, die Wasser verdunsten kann, freie Wärme dadurch in Arbeit verwandelt, daß Konzentrationsunterschiede hervorgerufen werden, so kann die freie Wärme höchstens zu 0,004433 pCt. in Arbeit verwandelt werden. *C. K.*

***P. Ascherson.* Hygrochasie und zwei neue Fälle dieser Erscheinung.** Ber. d. deutsch bot. Ges. Bd. X. H. 2. S. 94—114.

Mit dem Worte Hygrochasie bezeichnet Verf. die Erscheinung, daß bei manchen Pflanzen die Fruchtstände oder Früchte in Folge von Durchtränkung mit Wasser Bewegungen ausführen, welche die Ausstreuung der Samen oder Sporen erleichtern; beim Austrocknen tritt wieder Schließen ein. Bei der Mehrzahl der Gewächse entstehen entsprechende Bewegungen umgekehrt in Folge des Austrocknens (Xerochasie). Die bekanntesten Beispiele hygrochastischer Bewegungen geben z. B. die sog. Jerichorosen. Der Mechanismus, durch welchen diese Bewegungen ausgeführt werden, besteht in dem Aufquellen bestimmter Zellen und Zellgruppen entsprechender Anordnung. — An die biologischen Bemerkungen über die Bedeutung dieser Vorkommnisse schließt sich die eingehende Beschreibung der neuen Fälle (Lepidium spinosum und Ammi Visnaga). *C. K.*

***J. Wiesner.* Notiz über eine Blüthe mit positiv geotropischen Eigenschaften.** Berichte der deutsch. bot. Ges. Bd. X. (1892.) H. 1. S. 12—17.

Die Blüthen von Clivia nobilis erscheinen im Knospenstadium regelmäßig, im vollkommen ausgebildeten Zustande hingegen monosymmetrisch, indem nur eine durch den Blüthenstiel gehende beiläufig vertikal orientirte Ebene die einzelne Blüthe in zwei kongruente Hälften theilt. Die Symmetrie der Blüthe beruht auf einer Krümmung des Perigons in einer vertikalen Ebene. Es wurde untersucht, ob diese symmetrische Ausbildung spontan zu Stande kommt, oder ob äußere Einflüsse oder Kombinationen von spontanen und paratonischen Nutationen zu Grunde liegen.

Nach den Versuchen sind

1) die Perigone der Clivia nobilis positiv geotropisch;

2) die Krümmung der anfangs geraden Blüthen kommt im Wesentlichen durch die kombinirte Wirkung von positivem Geotropismus und Epinastie zu Stande.

Es ist dies der erste Fall des Nachweises positiv geotropischer Eigenschaften einer Blüthe. *C. K.*

***G. Lopriore.* Ueber die Regeneration gespaltener Wurzeln.** Berichte d. deutsch. bot. Ges. Bd. X. H. 2. S. 76—83.

An Wurzeln verschiedener Pflanzen, Mono- und Dikotylen (Zea, Vicia, Pisum, Phaseolus, Ricinus, Vitis u. s. w.) wurde immer eine vollständige Regeneration, d. h. ein Selbstständigwerden der Wurzelhälften mit eigener Epidermis, Rinde, Endodermis und normaler Orientirung der Gefäßgruppen erreicht. Man kann den Schluß ziehen, daß eine solche Regeneration gespaltener Wurzeln unter günstigen Verhältnissen bei allen Pflanzen möglich ist. In der an die Schnittfläche grenzenden Region bildete sich zunächst ein Wundgewebe, in diesem entstand ein Meristem aus parallel zur Wundfläche geordneten Elementen, vornehmlich in dem inneren, markartigen Gewebe des Zentralzylinders in unmittelbarer Nähe der Wundfläche. In den Interzellularen der der Wundfläche naheliegenden Schichten von Mark und Rinde erschien eine gelbe oder gelbbräunliche glasartige Füllsubstanz. *C. K.*

R. Hartig. **Ueber Dickenwachsthum und Jahrringbildung.** Botan. Zeitung. 1892. Nr. 11 und 12.

Entgegnung auf die gleichnamige Abhandlung von *L. Jost.* Diese Zeitschrift. Bd. XIV. S. 447.

P. Knuth. **Weitere Beobachtungen über die Anlockungsmittel der Blüthen von Sicyos angulata und Bryonia dioica.** Botan. Zentralblatt. Bd. XLVIII. (1891.) Nr. 11/12. S. 314—318. Vergleiche diese Zeitschrift. Bd. XV. S. 99.

III. Agrar-Meteorologie.

Mittheilungen aus dem agrikulturphysikalischen Laboratorium und Versuchsfelde der technischen Hochschule in München.

LXVI. Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre.

Von Dr. H. Puchner,

Assistent am agrikulturphysikalischen Laboratorium und Versuchsfelde der technischen Hochschule in München.

Die über diesen Gegenstand schon zahlreich vorliegenden Untersuchungen sind in ihren Resultaten nichts weniger als übereinstimmend; die diesbezüglichen Versuche älteren Datums ergaben nämlich nicht unerhebliche Schwankungen dieses Gases in der Atmosphäre, von *Reiset* wird aber neuerdings auf Grund seiner Versuchsresultate behauptet, daß diese Oszillationen nur gering seien und die Kohlensäure sonach in ziemlich konstanten Mengen in der Luft auftrete[1]). Obwohl nun in jüngster Zeit einer derartigen Anschauung auch widersprechende Resultate erhalten wurden, neigt man dennoch meistens ohne ersichtlichen Grund zu der von *Reiset* aufgestellten Behauptung hin und stützt sich dabei hauptsächlich auf die Mangelhaftigkeit der von den älteren Forschern benutzten Methoden. Obwohl nun dieselbe keineswegs in Abrede gestellt werden kann, so ist dennoch die Zahl derjenigen Untersuchungen, welche unter Benutzung neuer exakterer Methoden Abweichungen von den *Reiset*'schen Ergebnissen geliefert haben, so bedeutend, daß dieselben unmöglich unberücksichtigt bleiben dürfen.

Nachdem Verf. zu der Erkenntniß gelangt war, daß die in der Litteratur niedergelegten Daten sich behufs Lösung der bestehenden

---

[1]) Vergl. die Zusammenstellung von *E. Wollny*. Diese Zeitschrift. Bd VIII. 1885. S. 405—423.

Widersprüche nicht verwerthen lassen würden, glaubte er sich die Aufgabe stellen zu sollen, den Gegenstand einer nochmaligen eingehenden Bearbeitung unter Berücksichtigung der etwa möglichen lokalen Einwirkungen zu unterziehen. Zu diesem Zwecke wurden auf Vorschlag des Herrn Prof. *E. Wollny* regelmäßig während längerer Zeiträume Versuche nach völlig gleicher Methode gleichzeitig an verschiedenen Orten durchgeführt.

Hierbei wurde durchwegs nach *v. Pettenkofer's* Verfahren vermittelst eines Aspirators stets eine ganz bestimmte Menge Luft, nämlich 10 Liter, durch eine in allen Fällen gleich dimensionirte, d. i. 180 ccm fassende, mit Barytlösung gefüllte Absorptionsröhre gesaugt, welche an eine mit Schwefelsäurevorlage versehene Zuleitung anschloß. An dem Aspirator war mit Hülfe des daraufgepaßten, vierfach durchbohrten Gummistopfens außer dem Ablaufrohr für das Wasser und dem Saugrohr für die Luft noch ein kleines Quecksilbermanometer und ein nach innen hängendes Thermometer angebracht, um Druck und Temperatur der in der Flasche abgeschlossenen Luftmasse bestimmen zu können. Zur Aufnahme des aus dem Aspirator abfließenden Wassers war eine weitere Flasche verwendet, auf deren Oeffnung eine abnehmbare Blechkappe mit vertikal aufgekittetem, kurzem Glasrohr saß, welches zur Führung für einen an einen Schwimmer angeblasenen Glasstab diente. Letzterer war mit einer Marke versehen, welche sich dann mit einer ebensolchen auf dem Glasrohr angebrachten deckte, sobald die Menge des aus dem Aspirator in die Flasche abgetropften Wassers 10 Liter erreicht hatte.

Solche Aspiratoren nebst Zubehör hatte Verf. an verschiedenen Punkten aufgestellt, bei deren Auswahl das Hauptaugenmerk auf möglichste Mannigfaltigkeit und weitgehende Unterschiede bezüglich der sie beherrschenden Verhältnisse gerichtet wurde. Solchermaßen benutzte Verf. folgende theils an und für sich, theils durch private Güte oder behördliche Erlaubniß zur Verfügung stehende Versuchsorte:

1) Einen 55 Meter über dem Straßenpflaster gelegenen Punkt mitten in der Stadt (Thurm der Peterskirche),

2) einen solchen am Fuße dieses Thurmes, 5 Meter über dem Straßenpflaster,

3) das agrikulturphysikalische Laboratorium der technischen Hochschule in der nördlichen Vorstadt,

4) einen nach allen Seiten freien, über der Kiesfläche des Gartenweges gelegenen Punkt auf dem landwirthschaftlichen Versuchsfelde der technischen Hochschule, außerhalb der Stadt gelegen,

5) eine ca. 20 qm umfassende Schonung ebendaselbst, aus Sträuchern und bis zu 8 m hohen Birken bestehend,

6) eine in einen rasch fließenden Arm der Isar hineinragende Landspitze bei Thalkirchen (nächst München),

7) das Ufer eines Teiches im k. Park zu Nymphenburg (bei München).

Mannigfach kombinirt wurden nun stets gleichzeitig Versuche an mehreren dieser Orte ausgeführt, wodurch nicht nur für jeden einzelnen die absolute Kohlensäuremenge, sondern auch ein Ueberblick über die je nach Oertlichkeit statthabenden diesbezüglichen Unterschiede gewonnen wurde. Von zwei zu diesem Zwecke am bequemsten gelegenen Versuchspunkten aus erfolgte die Beschickung der übrigen mit schon gefüllten Röhren, deren Inhalt genau titrirt war.

Befand sich der Versuch einmal im Gange, so wurde der ganze Apparat sich selbst überlassen, nachdem vorher der Abfluß des Wassers aus dem Aspirator vermittelst einer Klemmschraube so geregelt worden, daß nach bestimmter Zeit (ca. 8 Stunden) bei Verfassers Wiedererscheinen der Versuch seiner Beendigung ungefähr nahe gekommen sein mochte. War nun das Wasser in der unter den Aspirator gestellten Flasche so weit gestiegen, daß sich die Marken am Führungsrohr und am Glasstab des Schwimmers deckten, so wurde die den Abfluß regulirende Klemmschraube völlig zugedreht, Druck und Temperatur im Innern des Aspirators abgelesen, wonach der eigentliche Versuch seinen Abschluß gefunden hatte.

Um dem Uebelstand, daß schon vor Verf. Wiedererscheinen das durchzusaugende Luftvolumen erreicht, resp. überschritten war, abzuhelfen, wurde, als die Untersuchungen größeren Umfang angenommen hatten, wohl auch zu der Erleichterung gegriffen, daß an jenen Versuchspunkten, welche keinen oder nur unbedeutenden Temperaturschwankungen unterlagen, solche Aspiratoren zur Aufstellung kamen, welche gerade 10 Liter Inhalt hatten und genau bis zu einer dementsprechenden Marke am Flaschenhalse mit Wasser gefüllt waren. Dadurch, daß die Mündung des saugenden Heberschenkels auf geeignete Weise bis auf den tiefsten

Punkt des konvexen Flaschenbodens gesenkt war, schaltete sich der Versuch selbstthätig aus, sobald eben 10 Liter Wasser aus dem Aspirator abgetropft, also 10 Liter Luft aspirirt worden waren. Bei gleichbleibender Temperatur der Umgebung erhielt sich auch nach diesem Zeitpunkt Druck und Temperatur im Aspirator auf gleicher Höhe, weil das Eindringen der äußeren Luft in denselben stets durch viele kleine Wassermenisken verhütet wurde, welche sich im Moment der selbstthätigen Versuchsausschaltung im Ablaufrohr bildeten und daselbst lange Zeit hartnäckig behaupteten.

War nun der Versuch auf die eine oder andere Weise zum Abschluß gekommen, so wurde der gesammte Inhalt der Barytröhre in ein bereitstehendes Glasfläschchen gegossen, welches, mit einem Gummistopfen luftdicht verpfropft, nach dem Laboratorium oder Versuchsfeld verbracht und daselbst so lange ruhig stehen gelassen wurde, bis sich das ausgeschiedene Baryumkarbonat zu Boden gesetzt hatte. Von der klaren Flüssigkeit wurden hierauf vermittelst einer mit einem kleineren Aspirator verbundenen Saugpipette 30 ccm abgehoben und in ein Glaskölbchen gebracht, worin sofort die Titration[1]) erfolgte, deren Ergebniß die Grundlage für die Berechnung der Kohlensäuremengen bildete[2]).

[1]) Titrirt wurde mit einer Lösung von 7,7 gr vierfach oxalsaurem Kalium in 2 Litern destillirtem Wasser, von welcher Flüssigkeit laut stöchiometrischer Berechnung 1 ccm gerade 1 mgr Kohlensäure entspricht.

[2]) Die Differenz der Mengen von Oxalatlösung, welche vor und nach dem Versuche zur Sättigung von je 30 ccm der Barytlösung nöthig waren, mit der Zahl 6 (180 : 30) multiplizirt, giebt die Menge der in der durchgesaugten Luft enthaltenen Kohlensäure direkt in mgr an, woraus sich das Volumen derselben in ccm durch Division mit 1,966, entsprechend dem Gewichte von 1 ccm Kohlensäure, ergiebt. Da jedoch das durchgesaugte Luftvolumen bei jedem Versuch unter anderen Druck- und Temperaturverhältnissen gestanden hatte, mußten die Resultate, um mit einander vergleichbar zu werden (nach den *Baumann*'schen Tafeln der Gasometrie) auf 0° und 760 mm reduzirt werden, nachdem vorher von dem zu reduzirenden Barometerstand noch die durch das Manometer angegebene Luftverdünnung in mm, sowie die der Tension des gesättigten Wasserdampfes bei der im Aspirator herrschenden Temperatur entsprechende Anzahl von mm abgezogen worden war. Auf die Korrektion der ursprünglichen Barometerablesung auf 0° bezüglich der Quecksilberausdehnung wurde ebenfalls Rücksicht genommen; da sich aber das benutzte Barometer an einem Orte mit ganz geringen Wärmeschwankungen befand, betrug die betreffende Differenz fast durchwegs nur 1—2 mm. Das nach allen Reduktionen erhaltene Resultat drückt aus, wieviel Volumtheile Kohlensäure in 10000 Volumtheilen Luft enthalten sind.

Auf diese Weise führte Verf. ca. 1700 Einzelbestimmungen aus, deren Resultate nachstehend in getrennten Abschnitten aufgeführt sind.

Da ein Hauptzweck der vorliegenden Arbeit auch die Bestimmung des Witterungseinflusses auf den Kohlensäuregehalt der Luft war, sind den folgenden Tabellen meistens Aufzeichnungen über den Witterungscharakter während der Versuchsdauer angefügt, welche größtentheils den «Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern» entnommen sind. Der Uebersichtlichkeit halber enthalten jedoch dieselben einerseits nur die speziell für jede Versuchsreihe maßgeblich ermittelten meteorologischen Erscheinungen, andrerseits wurde nur das Mittel der auf die Versuchszeit entfallenden Beobachtungen der Zentralstation angeführt. Die Angabe der Niederschlagshöhe in mm konnte gleichfalls nicht benutzt werden, weil dieselbe aus der Summe der Niederschläge bei Tag und Nacht resultirt, für vorliegenden Zweck jedoch die nächtliche Witterung gesondert betrachtet werden muß. Die Notirung der letzteren konnte nur mangelhaft ausfallen, da Verf. hierin entweder auf nur vorübergehende Beobachtungen seinerseits oder auf Aussagen anderer Personen fußen konnte.

I. Kohlensäuregehalt der Stadtluft.

An den zur Ermittelung desselben benutzten Versuchspunkten 1 und 2 wurde durch eine in den Fensterrahmen der daselbst befindlichen Lokalitäten gebohrte Oeffnung eine Leitung gelegt, durch welche die außen befindliche Luft unter nöthigen Vorsichtsmaßregeln nach dem im Innern aufgestellten Apparat geführt wurde. In Folge der durch die Lage der Versuchspunkte bedingten zeitraubenden Art der Versuchsausführung konnten die Kohlensäurebestimmungen daselbst nur auf je zwei kürzere Perioden in der kalten und warmen Jahreszeit ausgedehnt werden, in welchen folgende Resultate erhalten wurden.

Anmerkung: In nachstehenden Tabellen sind folgende abgekürzte Bezeichnungen verwendet:

Wind	W.	Regen	R.
stark. Wind	st. W.	stark. Regen	st. R.
windstill, ruhig	r.	Schnee	S.
klar	kl.	Nebel	Nb.
bedeckt	bed.	Hagel	H.

Windstärke und Bewölkung wurden nach der in 10 resp. 12 Intensitätsgrade getheilten Skala bemessen.

Kalte Jahreszeit.

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft: über der Stadt (in 55 m Höhe). Tag.	Nacht.	Mittel.	in der Stadt (in 5 m Höhe). Tag.	Nacht.	Mittel.	Nächtliche Zu- und Abnahme in Proz. der Tagesbeobachtungen: über der Stadt. Zunahme.	Abnahme.	in der Stadt. Zunahme.	Abnahme.	Witterungscharakter: Tag. Temperatur.	Bewölkung.	Relat. Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	Nacht.
1890 15. Okt.	7,129	4,788	5,956	5,617	4,449	5,033	—	32,91	—	20,79	12,5°	4,7	69	1,7	—	st. W.
16. »	4,644	4,052	4,348	4,414	4,027	4,220	—	12,75	—	8,77	7,3	10,0	79	3,0	R.	W.
17. »	4,246	4,579	4,412	3,844	—	—	7,84	—	—	—	4,8	10,0	84	4,7	R.	W.
18. »	3,679	3,719	3,699	3,701	3,152	3,427	1,09	—	—	14,83	5,4	10,0	83	5,0	R.	r.
23. »	6,259	4,971	5,615	4,046	4,601	4,323	—	20,58	13,71	—	- 0,3	6,3	80	0,7	—	r. Nb.
24. »	5,089	4,231	4,660	3,759	4,624	4,192	—	16,86	23,01	—	4,4	9,7	73	1,0	—	r. R. S.
25. »	4,952	3,659	4,306	4,122	4,005	4,063	—	26,11	—	2,83	3,5	10,0	86	2,0	R. S.	st. W. R.
26. »	3,526	3,889	3,708	3,879	3,829	3,854	10,29	—	—	1,29	6,6	9,0	75	3,7	R.	st. W.
31. »	5,709	3,659	4,684	4,134	3,627	3,880	—	35,91	—	12,26	4,6	9,3	88	0,7	R. S.	r. R. S.
3. Nov.	6,718	5,034	5,876	4,680	3,993	4,337	—	25,07	—	14,69	7,2	8,0	74	2,3	—	W.
4. »	5,577	5,079	5,328	4,870	5,103	4,986	—	8,98	4,78	—	6,1	6,4	79	1,0	—	W.
5. »	4,840	5,012	4,926	4,755	4,704	4,729	3,55	—	—	1,07	5,5	6,3	84	0,7	R.	r.
6. »	4,987	4,485	4,736	5,049	4,904	4,976	—	10,07	—	2,87	5,4	10,0	83	1,7	—	W. Nb.
7. »	4,619	4,461	4,542	4,553	3,824	4,188	—	3,35	—	16,01	4,1	9,7	79	0,7	—	r. R.
12. »	8,085	5,681	6,883	4,833	5,297	5,065	—	29,78	9,60	—	3,5	10,0	92	1,3	R. S.	r. R.
30. »	9,542	7,614	8,578	5,423	5,412	5,406	—	20,20	—	0,20	- 7,1	10,0	96	1,3	—	r.
1. Dez.	10,215	6,989	8,577	5,744	5,794	5,769	—	32,07	0,87	—	- 5,5	7,7	90	1,3	—	r. Nb.
2. »	7,184	6,642	6,913	6,005	5,383	5,694	—	7,54	—	10,35	- 2,1	9,3	92	0,3	Nb.	r. Nb.
3. »	7,386	5,935	6,660	6,055	4,959	5,507	—	19,64	—	18,10	0,8	10,0	93	1,0	Nb.	r. Nb.
4. »	5,229	5,116	5,172	5,643	5,324	5,483	—	2,16	—	5,65	- 1,1	10,0	98	0,3	Nb.	W. Nb.
9. »	7,694	5,312	6,503	5,559	5,939	5,749	—	30,96	6,83	—	- 6,7	7,0	93	1,0	—	W.
12. »	5,689	4,823	5,256	6,184	4,977	5,580	—	15,22	—	19,52	- 8,0	1,3	76	2,0	—	W.
16. »	7,717	5,083	6,400	4,522	4,434	4,478	—	34,13	—	1,95	-10,5	10,0	94	0,7	S.	W.
17. »	4,874	5,264	5,069	4,726	4,892	4,809	8,00	—	3,51	—	- 7,7	10,0	95	1,7	—	W. S.
18. »	5,297	4,815	5,056	4,395	4,920	4,658	—	9,09	11,94	—	- 8,2	10,0	92	1,0	S.	W. Nb.
19. »	5,772	5,249	5,510	4,596	4,713	4,654	—	9,05	2,55	—	- 6,3	10,0	90	0,3	—	r.
20. »	5,604	6,389	5,997	5,057	5,169	5,113	14,01	—	2,21	—	- 1,9	3,0	90	0,0	—	r. Nb.
27. »	7,537	4,194	5,866	5,666	4,805	5,235	—	44,36	—	15,19	- 6,0	10,0	94	1,0	Nb.	W.
28. »	4,101	4,311	4,206	4,486	4,784	4,635	5,13	—	6,64	—	- 9,9	5,7	99	1,0	—	r., Kl. (-14° C.)
29. »	5,009	3,779	4,394	4,529	4,478	4,501	—	24,55	—	1,23	-12,6	6,7	99	0,0	—	r. Nb.
30. »	5,259	5,075	5,167	4,839	4,932	4,886	—	3,49	1,92	—	- 9,4	9,0	96	0,3	—	r.
Mittel .	5,941	4,962	5,451	4,828	4,702	(4,781)										

Warme Jahreszeit.

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft						Nächtliche Zu- und Abnahme in Proz. der Tagesbeobachtungen				Witterungscharakter.					
	über der Stadt (in 55 m Höhe).			in der Stadt (in 5 m Höhe).			über der Stadt.		in der Stadt.		Tag.					Nacht.
	Tag.	Nacht	Mittel.	Tag.	Nacht.	Mittel.	Zunahme.	Abnahme.	Zunahme.	Abnahme.	Temperatur.	Bewölkung.	Relat. Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	
1891																
4. Mai	4,286	4,179	4,232	5,033	4,088	4,560	—	2,49	—	18,77	15,9°	9,7	77	1,0	—	r., bed.
5. »	3,634	3,440	3,537	4,328	5,033	4,680	—	5,34	16,29	—	15,0	10,0	71	2,0	—	r., bed.
6. »	3,644	3,639	3,642	4,356	4,306	4,330	—	0,14	—	1,12	15,7	9,3	56	2,0	—	W. R.
7. »	3,988	4,290	4,139	4,140	4,005	4,022	7,57	—	—	3,26	15,1	9,7	79	1,0	—	r., R.
8. »	3,346	3,134	3,240	4,188	3,774	3,981	—	6,34	—	9,89	13,8	10,0	75	1,7	—	r., st. R.
11. »	3,291	2,912	3,101	4,155	2,836	3,496	—	11,51	—	31,74	17,6	7,7	53	2,0	—	r. kl.
12. »	3,092	2,730	2,911	3,777	3,545	3,661	—	11,71	—	6,14	18,3	3,0	63	2,0	—	r. kl.
13. »	2,752	3,109	2,930	3,032	3,389	3,210	12,98	—	11,84	—	18,4	2,0	49	0,7	—	schw. W. kl.
14. »	3,038	3,142	3,090	3,612	3,065	3,338	3,42	—	—	15,14	17,8	5,7	47	2,7	—	r., bed.
15. »	3,078	2,727	2,902	3,089	3,562	3,325	—	11,40	15,31	—	15,8	8,0	79	2,7	R.	W., st. R.
19. »	4,087	4,121	4,104	4,435	4,203	4,319	0,83	—	—	5,23	12,9	9,3	65	0,7	R.	W. R.
20. »	1,666	2,929	2,298	2,317	3,212	2,764	75,81	—	38,63	—	17,0	6,0	68	0,7	—	r., kl.
21. »	2,780	3,145	2,962	3,269	3,114	3,192	13,14	—	—	4,74	20,0	5,7	62	1,3	—	st. W.
22. »	2,879	3,467	3,073	3,385	3,009	3,197	45,73	—	—	11,11	11,0	9,0	80	1,7	R.	r., kl.
23. »	1,842	2,579	2,210	2,391	2,477	2,434	40,01	—	3,59	—	14,3	6,3	61	1,7	—	W., kl.
25. »	2,759	2,929	2,844	2,891	2,311	2,601	6,16	—	—	20,07	14,3	5,0	64	2,0	—	st. W., R.
26. »	2,196	2,000	2,098	2,685	2,672	2,678	—	9,05	—	0,48	12,7	7,7	72	0,7	—	W., st. R.
27. »	1,652	2,427	2,039	2,138	2,292	2,215	46,91	—	7,20	—	11,2	10,0	74	1,3	—	W., bed.
28. »	0,738	1,640	1,189	1,270	(0,000)	0,635	122,22	—	—	100,00	14,4	3,3	62	0,7	—	r., kl.
2. Juni	2,395	3,462	2,928	2,867	2,867	2,867	44,55	—	0,00	0,00	20,1	6,3	60	2,0	—	W. R.
3. »	3,457	4,543	4,000	4,674	4,108	4,391	31,41	—	—	12,11	14,0	10,0	85	2,0	R.	r., bed.
4. »	3,137	3,137	3,137	3,287	3,104	3,196	0,00	0,00	—	5,57	19,1	6,3	67	0,0	—	r., bed.
5. »	3,124	3,508	3,316	3,442	3,459	3,450	12,29	—	0,49	—	17,6	8,0	78	2,0	R.	W., bed.
Mittel.	2,885	3,182	3,033	3,424	3,236	3,330										

Anmerkung: Bei der Reduktion der über der Stadt bestimmten Kohlensäuremengen auf 0° und 760 mm wurde vom Barometerstand die der Höhe von 55 m entsprechende Anzahl von mm in Abzug gebracht.

Mit Fortlassung der extremen nur einmal vorkommenden Daten würden sich stellen die

Schwankungen des Kohlensäuregehaltes.

		Grenzen	Differenz. Absolut.	In Proz. d. Minimgeh.
über der Stadt	Tag	1,652—8,578	6,926	419,25
	Nacht	2,000—7,614	5,614	280,70
	Mittel	1,826—8,096	6,270	349,97
in der Stadt	Tag	2,138—6,184	4,046	189,24
	Nacht	2,292—5,939	3,647	159,12
	Mittel	2,215—6,061	3,846	174,18.

Aus sämmtlichen vorangestellten Daten lassen sich folgende Thatsachen ableiten:

1) Sowohl die Luft über der Stadt als jene in der Stadt ist bei Tag und Nacht in der kalten Jahreszeit beträchtlich kohlensäurereicher als in der warmen;
2) der Kohlensäuregehalt der Luft über der Stadt weist im Allgemeinen während der kalten Jahreszeit eine nächtliche Abnahme, während der warmen Periode eine diesbezügliche Zunahme auf;
3) in der Luft des Stadtinnern wiegt sowohl während der kalten als warmen Jahreszeit eine nächtliche Abnahme vor;
4) die Schwankungen des Kohlensäuregehaltes der Luft sind sowohl über der Stadt als im Innern derselben sehr beträchtlich, und zwar sind an beiden Punkten diejenigen am Tage größer als jene bei Nacht;
5) in der kalten Jahreszeit ist die Luft über der Stadt fast durchwegs kohlensäurereicher als die im Stadtinnern, während in der warmen Periode im Allgemeinen das Gegentheil zutrifft und sich in der Stadt mehr Kohlensäure als über derselben vorfindet.

Wenn vor einer Erklärung dieser Thatsachen die Frage nach den Kohlensäurequellen der Stadtluft beantwortet werden soll, so wird behauptet werden können, daß für diese Oertlichkeit hauptsächlich zwei

Umstände hier in Betracht kommen, welche charakteristisch für jede größere Stadt sind, nämlich die Ausathmung von Seite der auf engem Raum beisammenwohnenden Menschen und die durch die Schornsteine der Fabriken, Gewerbestätten und Haushaltungen vermittelte Rauchproduktion. Wie aber die einfache Betrachtung lehrt, ist der Maßstab, in welchem diese beiden Faktoren den Kohlensäuregehalt der Stadtluft zu beeinflussen vermögen, ein sehr verschiedener.

Was zunächst die Ausathmung von Seite der Stadtbewohner betrifft, ist bekannt, daß durch dieselbe durchschnittlich per Person in 24 Stunden 424 ccm Kohlensäue produzirt werden, was bei der Bevölkerung von ca. 345000 Menschen des Versuchsortes München in der genannten Zeit einer Menge von ca. 1460 hl Kohlensäure gleichkommt. Der Anblick dieser immerhin nicht unbedeutenden Zahl könnte zu der Vermuthung berechtigen, daß jene Gasmenge doch wohl einen bestimmten Einfluß in der bezeichneten Richtung auszuüben vermöchte; allein ein näheres Eingehen auf die dabei maßgeblichen Vorgänge bricht der Ueberzeugung Bahn, daß die Athmungsprodukte der Stadtbewohner nur einen ganz minimalen Einfluß auf den Kohlensäuregehalt der umgebenden Luft haben können. Denn einerseits ist die hauptsächlich mit Respirationsgasen beladene Luft der Wohnungen zum großen Theil von der ungehinderten Kommunikation mit der äußeren Atmosphäre abgeschlossen und unterliegen daher die vermöge der Diffusion durch die Mauern nach außen gelangenden Antheile in Folge des verzögerten Austrittes einer wirksamen Zerstreuung im Raume. Dasselbe gilt aber auch für die Ausathmungsprodukte der sich in den Straßen bewegenden Menschen, welche ihre Respirationsgase nicht in einem kontinuirlichen Strome, sondern mit Intervallen bei jedem Athemzug in unendlich vielen kleinen Portionen aushauchen. Aber selbst wenn man sich, entgegen den thatsächlichen Verhältnissen, die Atmosphäre rings um die Stadt und in einer Höhe von ca. 100 Metern darüber abgeschlossen denkt, so würde bei einer im vorliegenden Fall zu 10 qkm angenommenen Fläche des kreisförmig gedachten Stadtgebietes die genannte Gasmenge in dem also begrenzten Raum, gleichmäßig vertheilt, nur eine Vermehrung von 0,001 Volumtheilen Kohlensäure auf 10000 Volumtheilen Luft binnen 24 Stunden hervorrufen können, wodurch die geringe Bedeutung dieses Faktors in der vermeintlichen Richtung genügend ausgesprochen ist.

Eine wesentlich andere Wirkungsstärke muß hingegen in dieser Beziehung dem in der Stadt produzirten Rauche zuerkannt werden. Bei durchschnittlicher Annahme von 60 % Kohlenstoffgehalt der Heizmaterialien ergiebt sich unter Abzug der als Ruß entweichenden Brennstoffe, daß per Ztr. Verbrauch derselben nahe an 500 hl Kohlensäure erzeugt werden. In Ansehung der Tausende von Zentnern Heizmaterial, welche alle Tage in einer größeren Stadt zur Verwendung kommen, kann man sich nicht der Ansicht verschließen, daß dadurch eine bemerkenswerthe Beeinflussung des Kohlensäuregehaltes der Stadtluft zu Stande kommen muß.

Unter Zugrundelegung dieses erscheinen die fortwährenden Schwankungen des Kohlensäuregehaltes der Stadtluft nicht überraschend, denn Quantität und Intensität der dabei in Betracht kommenden Verbrennungsprozesse, welche zu Handel und Wandel der Bevölkerung in engster Beziehung stehen, sind einer unendlichen Mannigfaltigkeit fähig; in gleicher Weise wird man die Ursache des Kohlensäurereichthums der Luft im Winter, ferner die Thatsache, daß während des letzteren im Allgemeinen über der Stadt sowohl am Tage wie als Folgeerscheinung hiervon auch bei Nacht mehr Kohlensäure als im Stadtinnern vorzufinden ist, auf die zu jener Jahreszeit durch die Wohnungsbeheizungen stark vermehrte Rauchproduktion ungezwungen zurückführen dürfen, welche in Folge der hohen Lage der Schornsteinmündungen in den oberen Luftregionen wirksamer als in den dem Boden zunächst gelegenen sein muß; auch die Erscheinung, daß die täglichen Schwankungen der Kohlensäure größer als jene bei Nacht sind, dürfte hauptsächlich auf dieselbe zurückzuführen sein, insofern bei Nacht die mannigfaltigen Verbrennungsprozesse sistirt sind.

Daß jedoch die Rauchproduktion nicht allein beim Zustandekommen der betreffenden Gesetzmäßigkeiten in Betracht kommen kann, erhellt aus der einfachen Ueberlegung, daß der Kohlensäuregehalt der Stadtluft, welcher hiernach vom Herbst zum Winter, entsprechend der immer umfangreicher werdenden Wohnungsbeheizung, eine ganz stetige Zunahme hätte erfahren müssen, in Wirklichkeit auch zu jener Zeit ein fortwährendes Schwanken zwischen Zu- und Abnahme aufweist. Eine derartige Unbeständigkeit der in der Stadtluft enthaltenen Mengen dieses Gases kann jedoch nichts Befremdendes an sich haben, wenn man weiter-

hin auch bedenkt, daß die Rauchmassen, von denen hauptsächlich die Lieferung von Kohlensäure ausgeht, in sehr wechselnde Beziehungen zur Atmosphäre, theils ganz allgemein in Folge verschiedener Eigenschaften beider, theils durch den modifizirenden Einfluß wechselnder Witterungserscheinungen gerathen können.

Bei dem komplizirten Ineinandergreifen dieser jederzeit in der Mehrzahl vorhandenen Faktoren erscheint es zwar unmöglich, jederzeit das Wirkungsgebiet eines einzelnen an der Hand der Versuchsresultate genau abzugrenzen, inwieweit sich jedoch hierüber berechtigte Vermuthungen aussprechen lassen, soll in den beiden folgenden getrennten Kapiteln dargelegt werden, welche sich einerseits mit den allgemeinen Beziehungen zwischen Rauch und Atmosphäre, andererseits mit dem Einfluß meteorologischer Elemente auf den Kohlensäuregehalt befassen. Namentlich im ersten Theile war Verf. in Folge Mangels von verwerthbaren Daten aus der Litteratur gezwungen, vielfach den Boden der Erfahrung zu verlassen und auf Grund entsprechender Beobachtungen hypothetisch vorzugehen.

1. Allgemeine Beziehungen zwischen Rauch und Atmosphäre.

a) Am Tage.

Um einer Ergründung derselben näher zu kommen, beobachtete Verf. während längerer Zeiträume das Emporsteigen der Verbrennungsgase aus der Stadt von außerhalb der letzteren gelegenen erhöhten Punkten[1]) aus und gewann dadurch die Ueberzeugung, daß die Atmosphäre je nach Jahres- und Tageszeit in wesentlich verschiedenen Beziehungen zu den austretenden Rauchmassen steht. Die Ergebnisse einer hieraus hervorgegangenen Ueberlegung sind im Folgenden darzustellen versucht worden.

Zweifellos kann zunächst behauptet werden, daß der Rauch um so rascher und in um so beträchtlichere Höhen emporsteigen wird, je bedeutender die Wärmedifferenz zwischen der umgebenden Luft und seinen eigenen Bestandtheilen ist, vorausgesetzt, daß die Atmosphäre in allen Höhenlagen gleiche Temperatur aufweist. Ist die letztere Bedingung erfüllt, so muß offenbar der Kohlensäuregehalt der Stadtluft abnehmen,

[1]) Zu diesem Zweck eignen sich für München ganz besonders die flußaufwärts gelegenen Hochufer des Isarthales.

wenn bei sonst gleichbleibender Witterung die Lufttemperatur sinkt, weil alsdann die Diffusionswirkung der schneller und höher emporsteigenden Verbrennungsgase nach abwärts eine Schwächung erleidet. Eine Periode, in welcher die atmosphärischen Verhältnisse derart gelagert waren, scheint der Herbst des Jahres 1890 gewesen zu sein, denn eine Zusammenstellung der Resultate, welche in jener Zeit an ruhigen Tagen ohne weitere auffällige Witterungserscheinung gewonnen wurden, ergiebt eine dem Vorrücken der Jahreszeit und der damit zusammenhängenden Temperaturabnahme entsprechende fortgesetzte Abnahme der Kohlensäure in der Luft über der Stadt, wie folgende Zahlen darthun:

15. Oktober	7,129	31. Oktober	5,789	6. Novemb.	4,987
23. »	6,259	4. Novemb.	5,577	7. »	4,619.
24. »	5,089	5. »	4,840		

Daß die an den gleichen Tagen im Stadtinnern ermittelten Resultate, wie aus der Haupttabelle ersichtlich, in keinerlei Weise die eben erwähnten Beziehungen erkennen lassen, ist darauf zurückzuführen, daß, wie aus augenscheinlicher Beobachtung der aus den Schornsteinen tretenden Rauchmassen hervorgeht, nicht die gesammte Menge derselben in die Höhe steigt, sondern an den Rändern in Folge der dort ermöglichten ergiebigen Abkühlung ein Stillstand der Bewegung erfolgt, wodurch eine Diffusion von Kohlensäure nach abwärts schon aus dem Niveau der Kaminmündungen eingeleitet wird, welche in Bezug auf Wirkungsstärke von der Lufttemperatur ziemlich unabhängig ist.

Jener Zustand der Atmosphäre, wobei der durch Wärmeüberschuß des Rauches gegen die umgebende Luft hervorgerufene größere oder geringere Auftrieb desselben ungetrübt zur Geltung kommen kann, dürfte sich jedoch nur auf die kürzeste Zeit des Jahres erstrecken. Schon gegen Ende des Herbstes 1890, namentlich aber mit Eintritt des ersten Frostes konnte Verf. eine ganz bedeutend verminderte Geschwindigkeit der Rauchgase beobachten, obwohl in Folge der weitgehenden Abnahme der Lufttemperatur eine beschleunigte Bewegung nach aufwärts vorausgesetzt hätte werden können. Eine Erklärung hierfür ist in der bekannten Thatsache zu suchen, daß die zunehmende Erkaltung des Erdbodens auch die ihm benachbarten Luftschichten in gleicher Weise zu beeinflussen vermag, wodurch eine Temperaturzunahme mit der Höhe zu Stande kommt.

Die Dichtigkeit der an sich nach oben dünner werdenden Luft wird aber offenbar in Folge dieses gleichzeitigen Wärmezuwachses mit der Höhe so rapid abnehmen, daß die Annäherung der spezifischen Gewichte von Rauch und Atmosphäre ungemein rasch erfolgen und dadurch der Auftrieb des ersteren schon in geringer Entfernung vom Erdboden verloren gehen muß. Hierbei wird die Diffusionskraft nach abwärts wachsen und deshalb der Kohlensäuregehalt der Stadtluft zunehmen, so daß es nicht schwer wird, z. B. die hohen Zahlen für die Region über der Stadt am 12. und 30. November und 1. Dezember 1890 zu erklären, an welchen Tagen in der That eine vertikale Temperaturumkehr durch Thermometerbeobachtungen auf dem Thurm und am Fuße desselben, wie aus folgender Zusammenstellung ersichtlich, konstatirt werden konnte.

	Lufttemperatur.			Lufttemperatur.	
Datum.	Oben.	Unten.	Datum.	Oben.	Unten.
12. Nov.	3 °C.	2 °C.	30. Nov.	-6,3° C.	-7° C.
26. »	-6,8 »	- 8 »	1. Dez.	-4 »	-8 ».
28. »	-9 »	-10,2 »			

Besondere Erwähnung verdient, daß für die bezeichnete Luftregion über der Stadt an dem Tage mit der intensivsten Ausbildung dieses Zustandes auch der höchste Kohlensäuregehalt ermittelt wurde (1. Dez. 10,215).

Der Eintritt der vertikalen Temperaturumkehr im Herbste wird wohl vielfach vorübergehend auch schon in früheren Tagen, die noch gegen den Sommer zu gelegen sind, eine Steigerung des Kohlensäuregehaltes der Stadtluft hervorrufen; so beobachtete Verf. im September 1891 während einer Periode, wo von den meteorologischen Hochstationen bereits die Temperaturzunahme mit der Höhe gemeldet wurde, daß sich am Morgen und Abend, nicht aber in der Zwischenzeit, jene charakteristisch verstärkte Rauchdecke über der Stadt vorfand. Offenbar hatten sich hierbei in Folge der Ausstrahlung des Bodens schon in den späten Nachmittagsstunden, noch viel mehr aber bei Nacht, kalte stagnirende Luftschichten der Erdoberfläche aufgelagert, welche erst, nachdem in Folge des höheren Sonnenstandes unter Tags wiederum ein Wärmeausgleich in der Atmosphäre stattgefunden hatte, in ihrer indirekten Einwirkung auf die emporsteigenden Verbrennungsgase indifferent werden konnten.

Unter diesen Umständen wird sich höchst wahrscheinlich, wenigstens in der Luft über der Stadt, ein Kohlensäuremaximum am Morgen und Abend auszubilden vermögen.

Man sollte meinen, daß der eben beschriebene Zustand nach Eintritt des ersten Frostes immer mehr zur Geltung kommen müßte; fortgesetzte Temperaturbeobachtungen ergaben aber, daß die bedeutende Wärmeabnahme in der Luft nach unten, wie sie am 1. Dezember 1890 vorhanden war, bereits am folgenden Tage einer in den verschiedenen Höhenlagen gleichen Temperatur weichen mußte und sich für die Folge sogar stets im Stadtinnern eine höhere Temperatur als über demselben zeigte. Da gleichzeitig auch außerhalb der Stadt analoge Beobachtungen gemacht wurden, welche noch immer einen Wärmezuwachs mit der Höhe konstatirten, so muß die entgegengesetzte Erscheinung in der Stadtluft auf Rechnung von Faktoren gesetzt werden, welche in den spezifischen Verhältnissen derselben begründet sind. In dieser Beziehung müssen die ganz kolossalen Wärmesummen berücksichtigt werden, welche in einer Stadt bei strenger Winterkälte durch die Wohnungsbeheizungen produzirt werden und die auf jeden Fall eine in Rechnung ziehbare Temperaturerhöhung der Gebäudemassen hervorrufen können. In Folge hiervon wird sich aber aus allen dicht mit Häusern bebauten Stadttheilen ein schwacher, aber kontinuirlicher, nach aufwärts gerichteter Luftstrom erheben, der die aus den Schornsteinen tretenden Verbrennungsgase mit sich in eine Höhe entführt, welche die dem Auftrieb entsprechende übertrifft. Unter solchen Umständen muß die Diffusionswirkung nach abwärts geringer werden und dadurch auch der Kohlensäuregehalt der Stadtluft wieder abnehmen, wie dies durch die gegen Ende des Monats Dezember 1890 gewonnenen Resultate namentlich für die Luft über der Stadt, in geringerem Maßstab auch für die im Stadtinnern vermittelt wird.

Auch die letztere hatte nämlich ungefähr zur selben Zeit wie die über der Stadt befindliche Luft ein Maximum des Kohlensäuregehaltes erreicht (2. u. 3. Dez.). Es bleibt aber bemerkenswert, daß sich dasselbe hier erst um einen Tag später auszuprägen begann, während in den höheren Luftschichten bereits die Abnahme Platz gegriffen hatte. Wahrscheinlich steht diese Erscheinung in Beziehung zu dem in jener Zeit zur Entwickelung kommenden Luftstrom, der die Verbrennungsgase aus der Stadtmitte nach oben entführt, woselbst sie, da fortwährend

neuer Nachschub von unten erfolgt, auseinanderfließen, um an den Stadträndern, wo die Intensität des Luftstroms immer geringer wird, herabzusinken, durch die saugende Wirkung des letzteren im Stadtinnern wiederum in horizontaler Richtung dorthin gezogen und alsdann auf's Neue emporgeführt zu werden. Nur auf diese Weise vermag wohl die Thatsache eine Erklärung finden, daß sich der extrem hohe Kohlensäuregehalt über der Stadt am 1. Dezember nicht völlig gleichzeitig, sondern erst nach einiger Zeit auch im Stadtinnern bemerkbar zu machen vermochte. Da dieser auf Umwegen vor sich gehende Bezug von Kohlensäure nur bei ruhiger Luft ungestört zu Stande kommen kann, eine Anwendung für den vorliegenden Fall aber in der That an den hauptsächlich in Betracht kommenden Tagen vom 2. und 3. Dezember völlige Windstille ergiebt, so ist hierin ein indirekter Beweis für die Wahrscheinlichkeit der eben geschilderten Verhältnisse zu erblicken. Es muß noch darauf hingewiesen werden, daß das Zustandekommen der letzteren wesentlich durch jene Eigenschaften des Rauches unterstützt sein kann, welche in der Zusammensetzung desselben aus gasigen und festen Theilchen, nämlich Ruß und Aschenpartikelchen begründet sind. Die letzteren kühlen sich jedenfalls sehr rasch ab und theilen ihre niedere Temperatur den ihnen wahrscheinlich in adhäsiver Spannung angelagerten gasförmigen Bestandtheilen mit, welche in Folge ihrer höheren Wärmekapazität ungleich langsamer und geringer erkalten würden. Auf diese Weise wird das spezifische Gewicht der an den Stadträndern herabsinkenden Verbrennungsgase gegen die Luft immer größer und können dieselben dadurch bis ganz nahe an den Erdboden gelangen, wobei sie der saugenden Wirkung nach dem Stadtzentrum zugänglicher werden. Vermuthlich wird sich ein derartiger atmosphärischer Kreislauf im Allgemeinen während des ganzen Winters erhalten können und erst mit Sistirung der Wohnungsbeheizungen im Frühjahr ein Ende nehmen.

Der eben beschriebene Luftstrom kann jedoch während der verschiedenen Stunden des Tages nicht von gleicher Intensität sein, er muß sich offenbar am Morgen bedeutend schwächer als am Abend ergeben, weil in Folge der nächtlichen Unterbrechung der Wohnungsbeheizung eine Erkaltung im Stadtinnern durch unersetzte Wärmeausstrahlung eintreten muß. Aus der in den ersten Vormittagsstunden ganz allgemein im Stadtgebiete erfolgenden Wiederaufnahme von Verbrennungsprozessen wird also

um so leichter ein Kohlensäuremaximum namentlich für die Luft über der Stadt resultiren können, weil in den folgenden Stunden des Tages der aufwärts gerichtete Luftstrom in Folge Wiedererwärmung der Häuser fortwährend an Intensität zunimmt und dadurch den Kohlensäuregehalt herabsetzt[1]).

Unter Zugrundelegung der Ausgangsbetrachtung dieses Kapitels muß es auch merkwürdig erscheinen, daß in der warmen Jahreszeit trotz der stetig zunehmenden Lufttemperatur der Kohlensäuregehalt immer geringer wurde, obwohl in Folge der zu jener Zeit nothwendigermaßen eintretenden Verminderung des Auftriebes der Rauchgase eine Vermehrung der Kohlensäure in der Stadtluft zu erwarten gestanden wäre. Zur Erklärung der gegentheiligen Thatsache muß die allerwärts zu machende Beobachtung herangezogen werden, daß sich während der warmen Jahreszeit vermöge der hohen Erwärmung der Erdoberfläche vom Boden nach aufwärts gerichtete Luftströme erheben, welche nicht ohne Einfluß auf die Diffusionswirkung des Rauches bleiben können. Um die mechanische Gewalt dieser atmosphärischen Strömung im vorliegenden Falle richtig zu würdigen, ist daran festzuhalten, daß namentlich die aus ausgezeichneten Wärmeleitern konstruirten Dächer der Stadt, welche in Folge ihrer Neigung vielfach rechtwinkelig von den Sonnenstrahlen getroffen werden, einer enormen Erhitzung ausgesetzt sind, welche die Höhe von 60° C. erreichen kann und dadurch den aufliegenden Luftschichten einen Temperaturüberschuß von 20—30 Grad gegenüber den höheren Regionen verleiht. Der solchermaßen eingeleiteten Aufwärtsbewegung der Luft wirkt inmitten stark bebauter Stadttheile in keiner Weise eine durch seitliche Abkühlung hervorgerufene Verzögerung entgegen, denn rings umher erheben sich Luftströmungen von nahezu ebensolcher Temperatur und Geschwindigkeit; die Höhe, in welcher diese zentralen, aus dem Gleichgewicht gebrachten Luftmassen zur Ruhe kommen, hängt also lediglich von der Annäherung ihres spezifischen Gewichtes an jenes der umgebenden Atmosphäre ab und wird deshalb sehr beträchtlich sein.

[1]) Der Einwand, daß bei gesteigerter Luftströmung auch wieder auf bekannten Umwegen um so mehr Rauchgase aus dem Stadtzentrum emporgesaugt werden, erfährt eine Beseitigung durch den Hinweis, daß alsdann die Höhe der Aufwärtsbeförderung der Gase, dadurch der gesammte zurückzulegende Weg im Kreislauf und so auch der Verlust derselben an Kohlensäure durch unvermeidliche Diffusion wächst.

Der in jenen Tagen in Folge der hohen Lufttemperatur mit geringer Geschwindigkeit aus dem Schornstein tretende Rauch wird unwiderstehlich von der Luftströmung emporgerissen und ebenfalls in diese Höhe entführt, welche aber jene ganz bedeutend übertrifft, welche er nur vermöge seines in der warmen Jahreszeit geringen Auftriebes erreicht haben würde. Einerseits die Schnelligkeit dieser Aufwärtsbewegung, andrerseits die große Entfernung der in der Höhe gehaltenen Rauchmassen von der Erdoberfläche setzen aber eine Lieferung von Kohlensäure nach abwärts in die Stadtluft jedenfalls bedeutend herab und lassen sich hierdurch leicht die sowohl über der Stadt als im Innern derselben während der warmen Jahreszeit sehr niedrigen Versuchsresultate erklären, zumal wenn man außerdem in Betracht zieht, daß die Quantität der aufwärts beförderten Rauchgase in Folge Wegfalls der Wohnungsbeheizungen in jener Periode viel geringer ist als im Winter. Daß das Zusammenwirken dieser beiden Umstände den fraglichen Kohlensäuregehalt in ganz erstaunlicher Weise herabzusetzen vermag, beweisen am besten die auf den 28. Mai (Fronleichnams-Fest) entfallenden Versuchsresultate. Es kann kein Zufall sein, daß die niedrigsten Zahlen, welche überhaupt für die Stadtluft erhalten wurden, auf einen Tag treffen, der sich neben heißer Witterung und beträchtlicher Klarheit auch noch dadurch auszeichnete, daß er einen für den Versuchsort München besonders hoch gehaltenen Feiertag repräsentirt, an dem nicht nur sämmtliche industriellen und gewerblichen Rauchquellen unthätig waren, sondern auch die durch schöne Witterung begünstigten Ausflüge der Bevölkerung eine wesentliche Verringerung der durch die Haushaltungen produzirten Verbrennungsgase zur Folge hatten.

Die soeben besprochene atmosphärische Aufwärtsbewegung in der warmen Jahreszeit dürfte auch als Ursache dafür anzuführen sein, daß sich in jener Periode der Kohlensäuregehalt ausnahmslos über der Stadt geringer als im Stadtinnern ergeben hat. Die besagte Luftströmung beginnt eben nicht so sehr schon in den Straßen und Gassen der Stadt, sondern entwickelt sich aus schon bekannten Gründen im vollen Umfang erst im Niveau der Bedachungen, so daß sich im Stadtinnern nach derartigen saugenden Zentren hin horizontale und schiefe Gegenströmungen ausbilden, welche in Folge des verschiedenen Standorts der Schornsteine deren Mündungen vielfach passiren und die aus denselben entweichenden Verbrennungsgase seitlich und nach unten verbreiten.

In Folge des durchgreifenden Einflusses der atmosphärischen Aufwärtsbewegung im Sommer auf die Rauchgase werden sich weiterhin die Schwankungen des Kohlensäuregehaltes im Laufe eines Tages jener Jahreszeit bei windstiller und gleichbleibender Witterung in erster Linie vom Stande der Sonne abhängig zeigen müssen. Besonders wird dies für die Luft über der Stadt der Fall sein, während im Stadtinnern in Folge der Diffusion aus Schornsteinhöhe hierin Verwischungen eintreten werden. Jedenfalls erreicht die Geschwindigkeit des maßgeblichen Luftstroms ein Maximum, wenn die Sonne dem Kulminationspunkt nahe ist, und wird dadurch, trotz vielleicht um jene Tageszeit vermehrter Rauchproduktion, ein Minimum des Kohlensäuregehaltes über der Stadt entstehen müssen.

b) Bei Nacht.

Die im Bisherigen für die Dauer des Tages ermittelten Beziehungen zwischen Rauch und Atmosphäre finden ihre Fortsetzung in der einen oder anderen Weise auch bei Nacht. Natürlich können hierbei keine aufsteigenden Verbrennungsgase in Betracht gezogen werden, da die Rauchproduktion sistirt ist. Dadurch erklärt sich auch die Gesetzmäßigkeit, daß im Allgemeinen im Stadtinnern sowohl während des Sommers als im Winter die Luft bei Nacht kohlensäureärmer wird, weil eben diejenige Diffusion in Wegfall kommt, welche unter Tags durch die gleich nach dem Austritt aus dem Schornstein zur Ruhe gelangenden Rauchantheile eingeleitet wird.

Aber in den höheren Regionen müssen sich offenbar auch zu Beginn der Nacht noch Reste von Verbrennungsgasen befinden, welche am vorangegangenen Tage in einem bestimmten Niveau über der Stadt in Gleichgewichtszustände gerathen sind. Je nach der Art der letzteren werden die Rauchtheile nun in unterschiedliche Beziehungen zur Atmosphäre während des Verlaufes der Nacht treten und dürfte hierauf die Thatsache zurückzuführen sein, daß die Luft über der Stadt hinsichtlich nächtlicher Zu- und Abnahme der Kohlensäure je nach Jahreszeit einen offenen Gegensatz aufweist, insofern sie im Winter ärmer, in der warmen Jahreszeit hingegen reicher an Kohlensäure wird als am vorangegangenen Tage.

Die erstere Erscheinung kann nichts Ueberraschendes bieten, da während der Nacht keine Rauchmassen aus der Stadt emporsteigen, so daß für die nach allen Richtungen des Raumes vor sich gehende Zer-

streuung der vom vorangegangenen Tag übrig gebliebenen, im stabilen Gleichgewicht befindlichen Reste von Verbrennungsgasen kein genügender Ersatz geboten ist.

Die gegentheilige Erscheinung in der warmen Jahreszeit kann daher nur auf Rechnung der spezifischen Eigenthümlichkeiten dieser Periode gesetzt werden, worunter für vorliegenden Fall in erster Linie die durch extreme Erwärmung der der Stadt aufruhenden Luftschichten hervorgerufene atmosphärische Strömung am Tage in Erwägung gezogen werden muß.

Durch diese Luftbewegung werden, wie schon erwähnt, die aus dem Schornstein tretenden Verbrennungsgase zunächst mit großer Geschwindigkeit in bedeutende Höhen entführt, wobei eine Diffusion von Kohlensäure nach abwärts auf ein Minimum reduzirt sein muß.

Diese nach aufwärts beförderten Rauchmassen befinden sich nun daselbst unter ganz wesentlich von jenen ihrer Umgebung abweichenden Verhältnissen. Während dieselbe aus sehr dünner Luft von relativ niederer Temperatur besteht, besitzen die dahin gelangten Verbrennungsgase, entsprechend ihrer raschen Aufwärtsbeförderung, einen Ueberschuß sowohl an Wärme als auch Dichtigkeit. Die dort an sich sofort in ihre Rechte tretende natürliche Schwere der Rauchmassen wird durch die alsbald sich geltend machende Abkühlung derselben bedeutend verstärkt und es resultirt hieraus eine Aufspeicherung von lebendiger Kraft, welcher nur durch die mechanische Gewalt des aufwärts gerichteten Luftstroms das Gleichgewicht gehalten wird. Wenn auch hierbei, ähnlich, wie dies wahrscheinlich im Winter der Fall ist, ein theilweises Abfließen der Rauchmassen nach den Stadträndern hin, wo der Luftstrom schwächer wird, erfolgt, so ist doch am Abend noch immer eine genügende Menge hiervon über der Stadt vorhanden und beginnt, da ihr der Druck von unten nicht mehr das Gleichgewicht zu halten vermag, eine langsame Abwärtsbewegung, welche, entsprechend der fortwährenden Geschwindigkeitsabnahme der nach oben gerichteten atmosphärischen Strömung, sie mehr und mehr jenem Niveau nähert, worin sie schon Tags über hätte zur Ruhe kommen sollen.

In Folge der dabei abnehmenden Entfernung zwischen dem Erdboden und der Rauchschichte wird aber die kohlensäurebereichernde Wirkung der letzteren nach abwärts bei Nacht zunehmen müssen, um so mehr,

als der der Diffusion entgegengesetzte Widerstand einer aufwärts gerichteten Luftbewegung bedeutend geringer als am vorangegangenen Tage ist.

Die soeben beschriebene Kohlensäurezunahme muß sich in der Luft über der Stadt mit jeder Stunde der Nacht stärker bemerkbar machen und wird bis zum nächsten Morgen anhalten, wo die herabsinkende Rauchschichte ihr tiefstes Niveau erreicht hat. Dies kann bei ruhiger Luft in den frühesten Morgenstunden daran erkannt werden, daß sich in jener Region deutlich entweder ein leichter Schleier ausbreitet oder sich zarte Wölkchen vorfinden, welche Gebilde in den ersten Strahlen der noch unter dem Horizont befindlichen Sonne sich charakteristisch von der umgebenden Atmosphäre abheben. Offenbar muß der Kohlensäuregehalt über der Stadt um diese Zeit ein Maximum erreicht haben, das sich zwar einige Zeit erhalten kann, sehr bald aber wieder einer bis gegen Mittag anhaltenden Abnahme weichen muß.

Das Zustandekommen der obigen Verhältnisse wird wahrscheinlich wesentlich unterstützt durch einige dem Rauche zukommende Eigenschaften, welche er seiner Zusammensetzung aus Theilchen festen und gasförmigen Aggregatzustandes verdankt. So liegt es sehr nahe, daß die schon früher berührten Unterschiede in der Wärmekapazität seiner Bestandtheile bei der allgemeinen nächtlichen Abkühlung der Luft das eben beschriebene Herabsinken der Verbrennungsgase wesentlich befördern. Fernerhin legt die jederzeit zu machende Beobachtung, daß bei ruhigem Wetter sich die Rauchmassen in der Höhe, wo sie ihren Auftrieb verlieren, lange Zeit hindurch fast unverändert erhalten, die Vermuthung nahe, daß der Diffusion der in ihnen enthaltenen Gase Kräfte entgegenwirken, welche auf die Zusammenhaltung als Ganzes gerichtet sind[1]). In der That ist aber eine adhäsive Spannung zwischen Theilchen festen und gasförmigen Aggregatzustandes eine längst erkannte Thatsache und gerade für Kohle, die als Ruß einen beträchtlichen Bestandtheil namentlich des aus industriellen Quellen stammenden Rauches bildet, besonders wenn sie sich wie hier in frisch erhitztem Zustand befindet, nachgewiesen; auch den aus Metallkarbonaten bestehenden Aschenpartikelchen dürfte,

[1]) Hierbei möge an die große Konstanz der manchmal aus Schornsteinen tretenden ringförmigen Rauchgebilde erinnert sein.

namentlich wenn sie durch die Kondensation des in der Luft oder im Rauch enthaltenen Wasserdampfes durchfeuchtet sind, eine solche Eigenschaft zukommen.

Die oben erörterten Eigenschaften des Rauches, welche auf seine Zusammenhaltung abzielen, werden auch in den Winternächten das Vorhandensein einer Rauchdecke über der Stadt begünstigen, woraus sich die Thatsache erklärt, daß in jener Jahreszeit im Allgemeinen auch bei Nacht über der Stadt mehr Kohlensäure als im Stadtinnern vorhanden ist. Dieser Rauchdecke kann aber gegenüber der des vorangegangenen Tages nur eine verschwindend geringe Kohlensäureabgabe zugesprochen werden, weil derselben für Diffusionsverluste keinerlei Ersatz durch nachgeschobene Verbrennungsgase geboten wird. Deshalb muß auch die Stadtluft mit jeder Stunde der Nacht kohlensäureärmer werden. Nur wenn sich Verhältnisse in der Atmosphäre ausbilden, welche gleichzeitig eine Diffusion aus jener Höhe am Tage beeinträchtigen, bei Nacht begünstigen, wird auch im Winter eine nächtliche Kohlensäurezunahme in der Stadtluft aufzutreten vermögen, und zwar, wie gleich gezeigt werden soll, nicht nur über der Stadt, sondern auch besonders im Stadtinnern.

Zunächst für die über der Stadt befindliche Luft wird dieser Fall, abgesehen von der spezifischen Wirkung einiger Witterungsumschläge, dann gegeben sein, wenn der unter Tags aus der Stadt empordrückende Luftstrom nächtlicherweile zur Sistirung kommt, weil alsdann, ähnlich wie dies in den Nächten der warmen Jahreszeit zutrifft, die über Gebühr hochgehaltenen Rauchmassen eine Abwärtsbewegung beginnen. Eine dem Zustandekommen dieser Situation günstige Witterung war in der Nacht vom 28. Dezember 1890 zu verzeichnen, welche bei Windstille und völlig klarem Himmel die tiefste Monatstemperatur aufwies und dadurch die Ausstrahlung der Gebäude, woselbst ja bei Nacht keine weitere Erwärmung der Mauern mehr erfolgt, derart beschleunigte, daß der Luftstrom ganz allgemein zur Sistirung kam und dadurch auf bekannte Weise der Kohlensäuregehalt über der Stadt zunehmen mußte. Da die Sistirung der atmosphärischen Aufwärtsbewegung jedenfalls nur allmählich zu Stande kommen kann, so wird in diesem Falle ein ganz kontinuirliches Anwachsen der Kohlensäure mit vorrückender Nacht stattgehabt haben.

Es ist auffallend, daß die gleiche Erscheinung in der Luft des Stadtinnern sich ungleich öfter auszuprägen vermochte. Man wird nicht fehlgehen, wenn man als grundlegend für die Möglichkeit dieser Thatsache den Umstand bezeichnet, daß die kohlensäureverringernde Wirkung, welche der unter Tags nach oben gerichtete Luftstrom im Winter auf die Stadtluft auszuüben vermag, sich im Stadtinnern viel bedeutender geltend machen kann als über demselben, weil er hier sowohl noch eine größere Geschwindigkeit besitzt, als auch weit geringere Rauchmengen, nämlich hauptsächlich nur die schon an der Schornsteinmündung zur Ruhe kommenden Antheile der Verbrennungsgase, abzuhalten hat. Von der Voraussetzung ausgehend, daß die Intensität des Luftstroms bei sinkender Temperatur, welche gleichzeitig eine Steigerung der Wohnungsbeheizungen bedingt, zunimmt, scheint folgende Nebeneinanderstellung gleichzeitig in und über der Stadt ermittelter Resultate einen Beweis für das Uebergewicht der Wirkung des Luftstroms im Stadtinnern zu ergeben[1]).

Kohlensäuregehalt.

Datum.	Ueber d. Stadt.	Im Stadtinnern.	Temperat.
4. Dezemb.	5,229	5,643	− 1,1 ° C.
20. »	5,604	5,057	− 1,9 »
19. »	5,772	4,596	− 6,3 »
30. »	5,259	4,839	− 9,4 »
29. »	5,009	4,529	−12,6 ».

Während sich aus diesen Zahlen der Kohlensäuregehalt der Luft über der Stadt als unbeeinflußt durch die Temperaturabnahme resp. die Intensität des Luftstroms erweist, ergiebt sich im Stadtinnern, mit einer einzigen Ausnahme (30. Dezember), eine dem Sinken der Temperatur völlig proportionale Abnahme, die wohl auf die damit zusammenhängende Intensitätssteigerung des Luftstroms zurückzuführen sein dürfte.

Der auf diese Weise unter Tags im Stadtinnern besonders geschwächte Kohlensäuregehalt ist daher viel empfindlicher gegen die Einwirkung von auf seine Zunahme gerichteten Faktoren bei Nacht, als dies über der

1) Der schon früher widerlegte Einwand, es könnten mit zunehmender Intensität des Luftstroms um so mehr Rauchtheile von den Stadträndern wieder nach dem Stadtinnern gesaugt werden, ist auch hier durch den Hinweis auf die dabei wachsenden Diffusionsverluste zu beseitigen.

Stadt der Fall ist und genügt daher schon eine geringfügigere Schwächung des aufwärts gerichteten Luftstroms, um durch das hierbei erfolgende Abwärtssinken von Verbrennungsgasen eine Steigerung des Kohlensäuregehaltes hervorzurufen, welche auf der Zunahme der Diffusionskraft nach unten beruht.

Die nächtliche Zunahme des Kohlensäuregehaltes der Luft im Stadtinnern scheint während strenger Kälteperioden sogar zur Regel zu werden, wie aus den vom 17.—20. Dezember resp. 27.—30. Dezember 1890 ausgeführten Versuchen hervorgeht, welche hiervon nur zwei Abweichungen aufweisen, von denen jene am 27. Dezember auf das unter Tags vorhandene, den aufwärts gerichteten Luftstrom sistirende Thauwetter, jene am 29. Dezember aber auf den bei Nacht herrschenden Nebel zurückzuführen sein dürfte, der dem Herabsinken der Rauchmassen einen mechanischen Widerstand entgegensetzte.

Wahrscheinlich spielt bei dieser häufigen nächtlichen Kohlensäurezunahme im Stadtinnern auch jene Eigenschaft der Rauchmassen eine wesentliche Rolle, welche auf der verschiedenen Wärmekapazität ihrer Bestandtheile beruht und eine bei nächtlicher Abkühlung gesteigerte Abwärtssenkung hervorruft. In diesem Sinne kann die Thatsache nicht mißverstanden werden, daß in mehreren Fällen (17., 20., 28. Dez. 1890), wo der Kohlensäuregehalt bei Nacht im Stadtinnern zunahm, sich gleichzeitig über der Stadt derselbe für jene Nacht geringer ergab als in der Tiefe, obwohl am vorangegangenen Tag das Gegentheil der Fall war. Eine Deutung hierfür muß wohl darin gesucht werden, daß sich das nächtliche Herabsinken der Verbrennungsgase in ein bedeutend tieferes als dem des über der Stadt benutzten Versuchspunktes entsprechendes Niveau, bis nahe an den Erdboden, erstreckt haben muß. In den ersten Morgenstunden nach außergewöhnlich kalten, ruhigen Winternächten ist diese Situation ganz deutlich an dem starken Geruch nach Rauch in den den Straßen der Stadt direkt aufruhenden Luftschichten zu erkennen, und kann sich dieselbe bei weiterhin andauernder starker Kälte auch unter Tags forterhalten, wie dies Verf. an mehreren Tagen zu Beginn des Monats Januar 1891 zu beobachten Gelegenheit hatte, an welchen eine undurchsichtige, nach Verbrennungsgasen riechende Schichte den Straßen in einer Mächtigkeit von 2—3 Metern aufgelagert war, während schon bei einer Erhebung in Stockhöhe die Luft klar und durchsichtig zu finden

war. Die letztere Erscheinung rührt vermuthlich daher, daß die schon in geringer Höhe über dem Straßenpflaster gelegenen Luftschichten bereits in die durch seitliche Wärmestrahlung aus den Häusern erzeugte Luftbewegung hineingezogen werden, während unbehindert dessen die direkt am Boden ruhenden Schichten unter dem Einfluß der tief erkalteten Erdrinde ihren Platz ohne Veränderung beibehalten, weil die in jenem Niveau gelegenen, nicht beheizten Kellerräumlichkeiten der Gebäude im Allgemeinen keine Wärme auszustrahlen vermögen.

Die Konsequenzen eines solchen Zustandes vom hygienischen Standpunkt betrachtet dürften ziemlich in die Augen springend sein. Ein großer Theil der aus gesundheitsschädlichen Gasen zusammengesetzten Rauchmassen senkt sich bei Nacht, mit den Respirationsprodukten der Bevölkerung und dadurch vielfach mit Krankheitskeimen beladen, wieder in die Straßen herab und bildet in diesem Zustand die Atmosphäre, welche den Stadtbewohnern für den nächsten Tag zur Athmung angewiesen ist und welche sich während desselben noch fortwährend verschlechtert, weil die menschlichen Exhalationen in der stabilen, am Boden ruhenden Luftschichte zum großen Theil festgehalten werden.

Eine ganz allgemeine derartige Abwärtssenkung der Rauchmassen wird sich zwar nur in den langen, um die Nähe des Wintersolstitiums gelegenen Nächten vollziehen können, wenn sich dieselben durch große Kälte auszeichnen und bei gleichzeitig klarem Himmel dadurch durchwegs der aufwärts gerichtete Luftstrom zur Sistirung gebracht wird. In geringerem Maßstabe kann sich aber ein solcher Zustand auch in weniger kalten Nächten dadurch ausbilden, daß nur an den in jeder Stadt vorhandenen großen Plätzen die Verbrennungsgase in Folge der daselbst ungestörten Erhaltung tiefer Lufttemperatur bis auf den Boden herabzusinken vermögen und dann in horizontalen Strömungen nach solchen Zentren hingezogen werden, wo, wie z. B. in engen Gassen, noch eine aufwärts gerichtete Luftbewegung vorhanden ist, so daß auch auf diese Weise eine Verbreitung von Rauchtheilen in einem großen Gebiete des Stadtinnern ermöglicht sein dürfte.

Im Gegensatz zur ausgeprägt winterlichen Periode macht sich in der warmen Jahreszeit, wie bereits berührt, im Stadtinnern hauptsächlich eine nächtliche Abnahme geltend, die im Vorangegangenen auf Rechnung der nächtlichen Sistirung jener Kohlensäurediffusion gesetzt wurde, welche

schon von den Schornsteinmündungen herab von Statten geht. Es bleibt hierbei jedoch noch immer eine offene Frage, weshalb einerseits trotz der heftigen Luftströmung nach aufwärts in der warmen Jahreszeit unter Tags Rauchgase nach unten gelangen können und andrerseits sich die in jener Periode bei Nacht geltend machende Zunahme der Kohlensäure über der Stadt nicht auch im Stadtinnern zu äußern vermag.

Bezüglich des ersten Punktes ist auf den bereits an anderer Stelle einmal gegebenen Hinweis zurückzugreifen, daß in Folge der hauptsächlich erst über der Stadt zur vollen Entwickelung kommenden Luftbewegung nach oben im Stadtinnern eine Verbreitung von Verbrennungsgasen nach seitwärts und wohl auch nach unten durch Gegenströmungen verschiedenster Richtung hervorgerufen wird.

Die Thatsache hingegen, daß sich die nächtliche Zunahme der Kohlensäure über der Stadt während der warmen Jahreszeit nicht auch im Stadtinnern auszuprägen vermag, ist darauf zurückzuführen, daß in jener Periode die Erhaltung eines ganz allgemeinen, aufwärts gerichteten Luftstroms mit geringer Stärke in den meisten Fällen auch bei Nacht deshalb gesichert ist, weil er von der gesammten, mäßig warmen Erdoberfläche ausgeht, so daß kein theilweises Eindringen der in beträchtlicheren Höhen herabsinkenden Rauchmassen in das Stadtinnere ermöglicht ist, wie dies während des Winters an freien Plätzen daselbst stattzufinden vermag.

In diesen Beziehungen dürfte auch mit ein Grund für die erstaunliche Thatsache zu suchen sein, daß sich in der auf den 28. Mai 1891 folgenden Nacht die Luft im Stadtinnern kohlensäurefrei erwies. Die Möglichkeit dieses Ergebnisses erscheint nämlich sofort näher gerückt, wenn man bedenkt, daß der vorangegangene, bereits früher erwähnte Feiertag sich aus bekannten Gründen schon durch einen äußerst niedrigen Kohlensäuregehalt auszeichnete, so daß mit gänzlicher Sistirung jeglicher Verbrennungsprozesse bei Nacht eine bis auf mit der angewandten Methode nicht mehr nachweisbare Spuren an diesem Gase herabgehende Verarmung der betreffenden Luftschichten hieran eintreten konnte. Dies vermochte trotz der in den höheren Regionen erfolgenden, gleichzeitigen Kohlensäurezunahme nicht verhindert zu werden, weil in Folge der starken Bodenerwärmung des vorangegangenen Tages sich wahrscheinlich ein nicht unbedeutender Luftstrom auch während des größten Theiles der Nacht erhielt.

In gleicher Weise sind wohl auch die eben besprochenen Verhältnisse am Zustandekommen der Thatsache betheiligt, daß in den Nächten der warmen Jahreszeit über der Stadt bald mehr, bald weniger Kohlensäure als im Stadtinnern ermittelt wurde. Bei näherer Durchsicht der Tabelle ergiebt sich, daß in der zweiten Hälfte der entsprechenden Versuche die Gesetzmäßigkeit vorherrscht, wonach im Stadtinnern weniger Kohlensäure als über der Stadt vorhanden ist (Nächte vom 21. Mai bis 5. Juni), während vorher das Gegentheil bei Nacht überwiegt.

So lange nämlich der aufwärts gerichtete Luftstrom unter Tags nicht diejenige Intensität erreicht hat, welcher zu Folge bekanntlich eine nächtliche Kohlensäurezunahme über der Stadt eintreten muß, vermag sich das für den Tag zutreffende Ueberwiegen der Kohlensäure im Stadtinnern gegen die höheren Luftschichten auch bei Nacht fortzuerhalten; ja selbst nach jenem Zeitpunkt, von dem an die nächtliche Kohlensäurezunahme über der Stadt in ihre Rechte tritt (13. Mai), kann unmittelbar noch immer nicht allgemein ein nächtliches Ueberwiegen der Kohlensäure in den dortigen Schichten gegen jene des Stadtinnern auftreten, wie aus den Resultaten der Nachtversuche vom 15., 19., 20. Mai hervorgeht. Dies rührt daher, daß in Folge der noch zu geringen Nachhaltigkeit der Bodenerwärmung sehr leicht bei Nacht eine Sistirung des Luftstroms erfolgt und dadurch die über der Stadt vor sich gehende nächtliche Kohlensäurevermehrung auch theilweise in das Stadtinnere einzudringen vermag; dadurch wird aber weiterhin wahrscheinlich verhütet, daß der Kohlensäuregehalt daselbst, der am Abend auf jeden Fall noch höher als jener über der Stadt ist, im Laufe der Nacht durch Zerstreuung unter diesen zu sinken vermag.

Erst wenn die Erwärmung der Erde so weit vorgeschritten, daß sich ein mäßiger, aufwärts gerichteter Luftstrom ganz allgemein auch bei Nacht zu erhalten vermag, ist der Fortpflanzung der in der Höhe erfolgenden nächtlichen Kohlensäurezunahme nach unten ein dauerndes Hemmniß bereitet und es muß sich der nächtliche Kohlensäuregehalt im Stadtinnern geringer als über demselben ergeben. Da derjenige Theil der Versuche, welcher die entgegengesetzte Thatsache ergiebt, noch nicht so recht der sommerlichen Periode als vielmehr der Uebergangszeit zum Frühling hin angehört, so können für die ausgesprochen warme Jahreszeit mit gutem Rechte die zuletzt geschilderten Verhältnisse zur Gesetzmäßigkeit erhoben werden.

Durch Witterungseinflüsse konnten jedoch diese allgemeinen Beziehungen vorübergehend Aenderungen erleiden, so z. B. in der durch anhaltenden Landregen charakterisirten Nacht vom 26. Mai, welche im Stadtinnern mehr Kohlensäure als darüber aufwies, weil, wie dies später noch näher erörtert wird, einerseits in der Höhe durch den Regen eine Absorption, sowie ein mechanisches Mitreißen von Rauchtheilchen, also eine Kohlensäureverminderung, bei der Ankunft der Regentropfen auf dem Boden andrerseits eine Abgabe von Kohlensäure stattfand.

Auch von der der Uebergangsperiode vom Frühling eigenen Gesetzmäßigkeit sind einige Ausnahmen zu verzeichnen. So war in den Nächten vom 4., 7., 11. und 14. Mai der nächtliche Kohlensäuregehalt im Stadtinnern geringer als darüber, weil die Erhaltung des Luftstroms bei Nacht für jene Zeit ausnahmsweise, theils in Folge sehr hoher Tagestemperaturen, theils durch stark bedeckten Himmel, schon gesichert war.

2. *Einfluß der meteorologischen Elemente.*

Es erübrigt nun noch eine Betrachtung der Versuchsresultate behufs Ermittelung des Einflusses meteorologischer Elemente auf den Kohlensäuregehalt der Stadtluft. Eine derartige, gleichviel auf welche Luftschichten angewandte Methode kann jedoch, wenn sie praktischen Werth haben und unnöthige Mühe ersparen soll, nur unter mancherlei Beschränkungen ausgeführt werden.

Zur Erreichung des beabsichtigten Zweckes dürfen zunächst nur Resultate solcher Versuche verglichen werden, welche einer und derselben nach den vorangegangenen Erörterungen je nach Jahreszeit unterscheidbaren Periode im Gange der Kohlensäureschwankungen angehören. In der Uebergangszeit solcher Abschnitte (z. B. bei Eintritt des Frostes), werden nämlich die Unterschiede, welche sich durch das Auftreten vereinzelter Witterungserscheinungen ergeben könnten, vollständig verwischt durch die weitgehenden Aenderungen im Kohlensäuregehalt, welche aus den in jenen Zeiten ganz allgemein in der Atmosphäre sich ausbildenden Zuständen (z. B. Wärmezunahme mit der Höhe) resultiren.

Bei gesonderter Feststellung irgend eines Witterungseinflusses dürfen fernerhin nur Resultate solcher Versuche verglichen werden, während welcher die Witterung von wenigstens annähernd gleichen Erschei-

nungen beherrscht war, jene ausgenommen, deren Einfluß festgestellt werden soll.

Endlich wird es sich auch empfehlen, unter den zu vergleichenden Versuchsresultaten solche auszuwählen, welche an unmittelbar aufeinanderfolgenden Tagen ausgeführt worden sind, weil sich während einer größeren Zwischenpause die fortwährenden allgemeinen Verschiebungen des Kohlensäuregehaltes störend geltend machen würden.

Unter Beachtung dieser Vorsichtsmaßregeln haben sich folgende Witterungsfaktoren als einflußreich ermitteln lassen.

a) Der Wind.

Namentlich in der Luft über der Stadt läßt sich eine kohlensäureverringernde Wirkung desselben deutlich konstatiren, so während der kalten Jahreszeit besonders in den stürmischen Perioden vom 15. bis 18. Okt. und 23. bis 26. Okt., wobei stets eine der Zunahme der Windstärke proportionale Kohlensäureabnahme erfolgte. Im selben Sinne können die Versuche vom 17. und 18. resp. 28. und 29. Dez. angeführt werden. In der warmen Jahreszeit läßt sich über der Stadt der gleiche Einfluß nur zu Beginn der ausgeführten Versuche, nämlich vom 4. bis 8. Mai erkennen, insofern sich proportional den Windstärken 1 : 2 : 2 : 1 : 1,7 die Zahlen 4,286, 3,634, 3,644, 3,988, 3,346 ergaben; im weiteren Verlauf jener Periode, selbst wenn die Windstärke rasch nach einander bedeutend wechselte, konnte eine derartige Wirkung nicht mehr beobachtet werden, so ergab sich am 13. Mai trotz bedeutender Abnahme der Windstärke gegen den vorangegangenen Tag eine Verringerung des Kohlensäuregehaltes statt einer Vermehrung, ebenso am 14. Mai bei Windzunahme statt einer Verminderung eine Vermehrung; dasselbe ist aus den Daten vom 25. und 26. Mai, resp. 3. und 4. Juni zu entnehmen. Wahrscheinlich trägt hieran die Ausbildung des aufwärts gerichteten Luftstroms Schuld; während nämlich in der kalten Jahreszeit durch die vermehrte Rauchproduktion dem offenbar hauptsächlich auf Zertheilung und Abfuhr in horizontaler Richtung beruhenden Einfluß des Windes auf die Verbrennungsgase ein weites Feld geöffnet ist, wird demselben im Sommer durch die Konkurrenz der nach oben gerichteten Luftbewegung und deren Verhalten zu den geringen Mengen vorhandenen Rauches ein bedeutendes Wirkungsgebiet entzogen. Diese Verhältnisse

treten natürlich nicht völlig unvermittelt ein, sondern machen sich erst mit zunehmender Ausbildung der fraglichen Luftbewegung im Laufe der warmen Jahreszeit geltend. Dadurch ist es möglich, daß noch vom 4. bis 8. Mai, nicht aber mehr später ein bezüglicher Einfluß des Windes erkannt werden kann. Das Dominiren der Einwirkung des Windes gegenüber nur schwachen, nach oben gerichteten Luftbewegungen ist auch den Resultaten der schon zitirten Versuche aus der durch einen aufwärts gerichteten Luftstrom charakterisirten Winterperiode zu entnehmen (17., 18., 28., 29. Dezember). Das Uebergewicht, das hingegen eine intensive atmosphärische Aufwärtsbewegung in ihrer Wirkung auch gegenüber erheblichen Windstärken zu erlangen vermag, muß dahin gedeutet werden, daß durch eine rasche Beförderung des Rauches nach oben seine Diffusionswirkung nach abwärts viel bedeutender geschwächt wird, als wie wenn er durch den Wind nur horizontal verschoben wird.

Auch bei Nacht hat sich der Wind über der Stadt erheblich kohlensäureverringernd erwiesen, was zunächst aus den hohen Zahlen für die prozentische nächtliche Abnahme hervorgeht, wie sie sich in den windigen Nächten der kalten Jahreszeit ergab (15. Okt. 32,91 %, 9. Dez. 30,96 %, 27. Dez. 44,36 %). Die in jener Zeit so wie so erfolgende nächtliche Abnahme wird also durch gleichzeitige Windwirkung verstärkt.

Da der der warmen Jahreszeit eigene Luftstrom selbst erhebliche Windstärken, wie vorhin gezeigt wurde, an Effekt zu übertreffen vermag, so wird in Nächten der warmen Periode ein Einfluß des Windes nur dann zu konstatiren sein, wenn die Erhaltung des Luftstroms während derselben möglichst wenig begünstigt ist, was z. B. bei klarem Himmel zutrifft. Die Versuche in den mehr oder weniger klaren Nächten vom 20. bis 23. Mai vermitteln daher, daß, wie aus der Tabelle ersichtlich, die nächtliche Zunahme des Kohlensäuregehaltes bei bewegter Luft am geringsten, bei Windstille am bedeutendsten war; bei Unterstützung durch einen ähnlich wirkenden Faktor, nämlich den später zu besprechenden Regen, ergiebt sich weiterhin sogar eine Abnahme gegen den vorangegangenen Tag (15., 26. Mai).

Windreiche Nächte können indirekt auch den Kohlensäuregehalt des nächsten Tages beeinflussen, weil in der durch den Wind an Kohlensäure verarmten Atmosphäre am Morgen die neu produzirte Rauchmenge nur einen geringeren Effekt als nach windstillen Nächten hervorzurufen ver-

mag. Auf diese Weise kann an solchen Tagen der Kohlensäuregehalt nur sehr wenig höher, ja manchmal geringer sein als der der vorangegangenen Nacht (17., 28. Dez.), weil während der ganzen Dauer der letzteren eine ununterbrochene, energische Abnahme stattfindet, die am Morgen so bedeutend geworden sein kann, daß der alsdann vorhandene Kohlensäuregehalt trotz wiederaufgenommener Rauchproduktion nicht mehr jene Höhe erreicht, welche dem nächtlichen Resultate zukommt, weil dieses das arithmetische Mittel aus dem am Morgen vorhandenen Kohlensäuregehalt und dem viel bedeutenderen vom vorangegangenen Abend darstellt.

Viel seltener als über der Stadt zeigte sich eine kohlensäureverringernde Wirkung des Windes im Stadtinnern. Als entsprechende Belege können eigentlich nur die Versuche vom 15. bis 18. resp. 23. bis 26. Oktober angeführt werden; in den letzteren Tagen war die Abnahme mit wachsender Windstärke einmal (25. Okt.) durch eine in Folge Schneefalls hervorgebrachte Zunahme unterbrochen. Der Grund, weshalb an diesem Punkt nur eine geringe Anzahl verwerthbarer Resultate gewonnen wurde, ist wohl wiederum auf die große Veränderlichkeit der hier hauptsächlich in Betracht kommenden Diffusion von Kohlensäure aus Schornsteinhöhe zurückzuführen, welche sogar unter Umständen bei windigem Wetter zunehmen kann, weil Rauchtheile direkt in das Stadtinnere hinabgedrückt werden. Darauf ist wahrscheinlich auch die Thatsache zurückzuführen, daß bei bedeutenderen Windstärken sich fast stets ausnahmsweise im Stadtinnern mehr Kohlensäure als über der Stadt vorfand.

Bezüglich der Windrichtung läßt sich in keiner Weise aus sämmtlichen vorliegenden Resultaten eine Beeinflussung erkennen, offenbar deshalb, weil sie, selbst wenn sie aufzutreten vermöchte, durch die groben Schwankungen völlig verwischt würde, welche die Aenderungen der Windstärke hervorrufen.

b) Der Regen.

Auf den ersten Blick erscheint die Konstatirung eines bestimmten diesbezüglichen Einflusses nicht besonders aussichtsvoll, da sich ein solcher in ganz abweichender Weise geltend machte [1]). Bei näherer Betrachtung

[1]) Vgl. die Bemerkung *Schulze*'s hierüber. Landw. Versuchsstat. XIV. 1871. S. 380.

ergiebt sich jedoch, daß diese Unregelmäßigkeiten sowohl in der verschiedenen Lage der benutzten Versuchspunkte als auch in dem Wechsel der Jahreszeit begründet sind.

So ergab sich über der Stadt bei regnerischer Witterung in der kalten Periode im Allgemeinen eine Abnahme, in der warmen Jahreszeit hingegen bald eine Abnahme, bald eine Zunahme des Kohlensäuregehaltes.

Als Beleg für die erstere Gesetzmäßigkeit können die Versuche vom 4. und 5. November angeführt werden, die bei gleichbleibender Windstärke mit Regeneintritt eine merkliche Abnahme ergaben, auch bei den starken Kohlensäureabnahmen in den stürmischen Tagen vom 15. bis 18. Oktober resp. 23. bis 26. Oktober kann mit ziemlicher Gewißheit eine Unterstützung durch den Regen angenommen werden.

Die für diese Erscheinung bisher am meisten angeführte Deutung, daß der Regen aus der Luft Kohlensäure aufnimmt, kann offenbar nicht von der Hand gewiesen werden, ist doch das Absorptionsvermögen von Wasser für Kohlensäure immerhin ein ganz beträchtliches. Allein wenn auch hierdurch die Thatsache der Kohlensäureabnahme an regnerischen Tagen der kalten Jahreszeit erklärt ist, so ist noch immer nicht die aus den vorliegenden Resultaten außerdem noch zu entnehmende Gesetzmäßigkeit begründet, wonach in regenfreien Nächten nach regnerischen Tagen über der Stadt eine für die kalte Jahreszeit als Ausnahme zu bezeichnende Kohlensäurezunahme auftritt, welche Erscheinung sich deutlich in den Nächten des 17., 18., 26. Oktober und 5. November ergab. Da dies auffällig an die analoge Thatsache erinnert, wie sie in der warmen Jahreszeit in Folge des Luftstroms nach oben zu Stande kommt, so erscheint die Annahme gerechtfertigt, daß an Tagen mit anhaltendem Regen sich eine ähnliche Luftbewegung auszubilden vermag. Abgesehen von dem Ergebniß eines jederzeit leicht anzustellenden Experimentes[1]) dient zur Bekräftigung hierfür die natürliche Ueberlegung, daß durch die Dislokation der ganz bedeutenden Massen von Regenwasser aus höheren Regionen nach der Tiefe eine korrespondirende Verdrängung von dort befindlicher Luft nach oben stattfinden muß, welche um so leichter zu Stande kommen kann, je mehr durch möglichst vollkommene Kugelform und geringen Durchmesser der Regentropfen die Reibungswiderstände

[1]) Ein Kerzenlicht neben einem nach unten konisch zerstreuten Brausestrahl aufgestellt, wird schräg nach aufwärts zu demselben hingezogen.

zwischen ihnen und der nach aufwärts gepreßten Luft herabgesetzt werden und je weniger durch horizontale Luftbewegungen die in vertikaler Richtung eingeleitete gestört wird. Die dadurch in ihrem Auftrieb übertreffende Höhen beförderten Rauchmassen werden dann nach Ende des Regens sich abwärts bewegen und eine Kohlensäurezunahme hervorrufen können, wie dies anderweitig schon näher besprochen wurde.

Eine solche Wirkungsweise, wie sie wohl hauptsächlich dem anhaltenden, aber minder heftigen Landregen zukommen dürfte, muß hingegen dem Platzregen abgesprochen werden, der durch seine elementare Gewalt denselben Effekt hervorruft, als ob eine zusammenhängende Wassermasse sich in rascher Abwärtsbewegung befände, wobei die nach unten zusammengepreßte Luft seitlich zu entweichen sucht und jene stürmischen Winde hervorruft, welche bei dieser Gelegenheit aufzutreten pflegen. Offenbar wird zwar durch die letzteren ebenfalls eine Kohlensäureabnahme vermittelt werden können, dieselbe kommt aber während der warmen Jahreszeit nicht immer zum Ausdruck, weil mit regnerischer Witterung in jener Periode das gleichzeitige Auftreten anderer meteorologischer Faktoren verknüpft ist, welche vermehrend auf den Kohlensäuregehalt wirken, indem sie die Intensität des aufwärts gerichteten Luftstroms schwächen. So hat allerdings der Platzregen in der Nacht des 25. Mai eine Verringerung herbeigeführt, welche sich dadurch zu erkennen gab, daß die für jene Zeit als Gesetzmäßigkeit geltende nächtliche Zunahme auf ein Minimum reduzirt war (6,16 °/o) und auch der Kohlensäuregehalt des nächsten Tages trotz abnehmender Windstärke noch geringer als zuvor sich erwies (2,759 : 2,196); auch der ergiebige Landregen in der Nacht des 26. Mai erzeugte eine sich ebenfalls auch noch auf den folgenden Tag erstreckende Abnahme. Hingegen ergiebt sich im Gegensatz dazu mit Regeneintritt eine beträchtliche Kohlensäurezunahme gegen den vorangegangenen Tag am 3. Juni.

Mit großer Wahrscheinlichkeit hätten sich im Verlaufe des Sommers noch öfters solch widersprechende Einflüsse des Regens geltend gemacht, wenn die Versuche fortgesetzt worden wären. Diese Gegensätze kommen nämlich lediglich durch die verschiedenartige Gruppirung regnerischer Witterung mit anderen, den Kohlensäuregehalt beeinflussenden Faktoren zu Stande, als welche sich Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Bewölkung repräsentiren.

Eine von den bisher geschilderten Wirkungsweisen abweichende scheint dem in der Nacht des 7. Mai aufgetretenen Sprühregen zugekommen zu sein, der eine nächtliche Zunahme bewirkte, obwohl diese Erscheinung in jenen Tagen noch durchaus nicht auf Rechnung des aufwärts gerichteten Luftstroms am Tage gesetzt werden konnte. Zur Erklärung dieser Thatsache, die sich auch bei den Versuchen im Freien nochmals ergiebt, sei an die Möglichkeit erinnert, daß der betreffende Regen vielleicht aus Luftschichten kam, innerhalb welcher in Folge hohen Kohlensäurereichthums und der dort herrschenden, niederen Temperatur nach den allgemeinen Absorptionsgesetzen eine maximale Aufnahme dieses Gases durch die Regentropfen stattfinden konnte, welche Kohlensäuremengen aber bei Annäherung an die Erdoberfläche in den zur kritischen Zeit ungemein warmen Luftschichten nicht mehr festgehalten zu werden vermochten und zum Theil an diese abgegeben wurden.

In der Luft des Stadtinnern hat der Regen nur in wenigen Fällen einen direkt ausgesprochenen Einfluß und zwar im vermehrenden Sinne auf den Kohlensäuregehalt ausgeübt. In der kalten Jahreszeit läßt sich derselbe nur schwer erkennen, weil die hierzu geeigneten Versuchstage sich meist durch erhebliche Schwankungen der Windstärke auszeichnen, wodurch aber gerade die für das Stadtinnere hauptsächlich maßgebliche Kohlensäurediffusion aus Schornsteinhöhe sehr verschieden beeinflußt wird; auch die durch Regen und Schnee gleichzeitig gekennzeichnete Witterung, welche am 25. Oktober allerdings eine Kohlensäurezunahme bewirkte, ist in Folge der Zweizahl der wirkenden Faktoren nicht völlig brauchbar, den gesonderten Einfluß des Regens klarzulegen. In der warmen Jahreszeit ergiebt sich jedoch ganz deutlich eine Kohlensäurezunahme durch Regenwetter am 22. Mai und 3. Juni.

Eine derartige Wirkung wird sich im Allgemeinen damit erklären lassen müssen, daß die in höheren Regionen aufgenommenen Kohlensäuremengen zum Theil abgegeben werden, wenn die Regentropfen den Boden erreichen, weil in Folge der dabei unvermeidlichen Oberflächenvergrößerung derselben den Verdunstungsfaktoren vermehrte Angriffspunkte geboten sind. Für die warme Jahreszeit kann wahrscheinlich auch für die Luft des Stadtinnern die Vermehrung der Kohlensäure zum Theil auf Rechnung der Intensitätsschwächung des aufwärts gerichteten Luftstroms gesetzt werden.

c) Der Schnee.

Diese Witterungserscheinung hat im Allgemeinen eine Kohlensäurezunahme der Stadtluft zur Folge gehabt, wie dies zunächst aus dem Versuchsresultat vom 18. Dezember für die Luft über der Stadt hervorgeht, insofern bei wenig veränderter Windstärke und gleichzeitigem Schneefall eine Vermehrung dieses Gases gegen den vorangegangenen Tag eintrat. Das Gleiche ergab sich an dem durch nassen Schneefall ausgezeichneten 25. Oktober für die Luft im Stadtinnern, ferner zeigte sich in der schneereichen Nacht vom 17. Dezember sowohl über der Stadt als im Stadtinnern eine anderweitig nicht zu erklärende Kohlensäurezunahme, auch der durch Schneefall charakterisirte 16. Dezember ergiebt eine für jene Zeit ungewöhnlich hohe Zahl in der Luft über der Stadt. Der dadurch gegebene Hinweis auf eine kohlensäuremehrende Wirkung der Schneefälle für die Stadtluft erfährt eine wesentliche Stütze durch die Betrachtung, daß die aus einem Haufwerk hexagonaler Eiskryställchen bestehenden Flocken in Folge der an ihnen zahlreich vorhandenen Flächenwinkel sehr wohl dazu geeignet sind, zwischen denselben massenhaft Theilchen der über der Stadt vorhandenen Verbrennungsgase wie in einem Fallschirm nach abwärts zu transportiren. In Folge der fortwährenden Veränderung der Lage der in der ursprünglichen Bewegungsrichtung gelegenen Flockenaxe vermögen sich diese Rauchbläschen nach kurzer Zeit aber meist wieder frei zu machen, um durch eine folgende Schneeflocke ähnliche Behandlung zu erfahren, wodurch eine Zusammenhaltung der über der Stadt vorhandenen Rauchmassen begünstigt wird. Andererseits gelangt aber auf diese Weise ein Theil hiervon auch bis auf den Erdboden und vermag auch den Kohlensäuregehalt der dort befindlichen Luft zu beeinflussen. Derart wird die Wirkung, welche die höchst wahrscheinlich auch durch die Abwärtsbewegung der Schneeflocken erzeugte, nach oben gerichtete Luftströmung auf den Kohlensäuregehalt auszuüben vermöchte, nicht nur kompensirt, sondern sogar in das Gegentheil verwandelt, und zwar wird dies um so mehr zu Tage treten, je ruhiger die Luft und je ungestörter dadurch die vertikale Abwärtsbeförderung von Rauch von Statten gehen kann.

d) Der Nebel.

Der kohlensäurevermehrende Einfluß des Nebels, der durch anderweitige Untersuchungen [1]) ermittelt wurde, spricht sich in den vorliegenden Resultaten nur sehr undeutlich aus.

Bei einer Betrachtung der besonders durch Nebel charakterisirten Versuchstage vom 2. bis 4. Dezember ergiebt sich ein Zusammenfallen derselben mit der durch die vertikale Temperaturumkehr hervorgerufenen Kohlensäurezunahme der Stadtluft; allerdings sind also die für jene nebeligen Versuchstage ermittelten Resultate durch eine Zunahme ausgezeichnet, allein diese ist nicht durch den Einfluß des Nebels zu Stande gekommen, wofür besonders der Umstand spricht, daß für die Luft über der Stadt die höchste Zahl an dem völlig nebelfreien 1. Dezember ermittelt wurde, während am folgenden Tage bei starkem Nebel schon wieder eine Abnahme vorhanden war. Hieraus kann geschlossen werden, daß vermuthlich in einzelnen Fällen, in welchen bei Nebel hohe Zahlen für den Kohlensäuregehalt gefunden wurden, die Ursache hierfür nicht in dieser Witterungserscheinung, sondern in der Ausbildung der Temperaturzunahme mit der Höhe zu suchen war, woran sich sehr leicht das Auftreten von Nebel knüpfen kann.

Daß aber eine Kohlensäurezunahme bei nebeliger Witterung nicht ausgeschlossen ist, geht zunächst für die Luft über der Stadt aus der ziemlich hohen Zahl vom 27. Dezember hervor, welche am folgenden, nebelfreien Tage fast um die Hälfte geringer wurde, obwohl sich die Windstärke nicht änderte. Vermuthlich wird dem mit einer bestimmten Wärmesumme aus dem Schornstein tretenden Rauch dieselbe durch nebelige Luft viel rascher entzogen als in weniger feuchter Atmosphäre, weil die erstere ein höheres Absorptionsvermögen für Wärme besitzt. In Folge der schnelleren Abkühlung geht aber der Auftrieb der Rauchmassen in geringerer Höhe verloren und wächst deshalb die Diffusionswirkung nach abwärts; hierbei kann wahrscheinlich auch ein direktes Herabsinken von Rauchtheilchen in Folge der Festsetzung derselben an den spezifisch schweren Nebeltröpfchen und weiterhin wieder eine Freigabe der Gase bei der Rückbildung in gesättigten Wasserdampf erfolgen, welch letztere

---

[1]) Zeitschrift d. österr. Ges. f. Meteor. Bd. XX. 1885. S. 153.

über der Stadt aus der Berührung mit nachströmenden, warmen Verbrennungsgasen, im Stadtinnern aus der mit den erwärmten Gebäudeflächen resultirt. Eine Kohlensäurezunahme auf diese Weise wird sich aber in der Luft über der Stadt vermuthlich leichter und schneller als im Innern derselben vollziehen, weil der aufwärts gerichtete Luftstrom der kalten Jahreszeit in höheren Regionen dem Herabsinken der Nebeltröpfchen schon einen viel geringeren Widerstand bietet als weiter unten, wo eine derartige Bereicherung mit Kohlensäure nur dadurch möglich ist, daß an größeren freien Plätzen das Eindringen derselben vor sich geht und dann eine Verbreitung durch horizontale Strömungen erfolgt. Offenbar muß der letztere Vorgang, um einen bestimmten Effekt zu erzielen, längere Zeit andauern, und ist darauf wahrscheinlich die Thatsache zurückzuführen, daß an den Versuchstagen vom 4. und 28. Dezember als Folgeerscheinung vorausgegangener nebeliger Witterung eine Kohlensäureansammlung im Stadtinnern — daran erkenntlich, daß über der Stadt weniger Kohlensäure als unten vorhanden war —, ermittelt werden konnte. Hierbei war wahrscheinlich auch eine Beförderung von Kohlensäure dahin vermittelst des atmosphärischen Kreislaufes über der Stadt betheiligt, wobei Diffusionsverluste vermöge der Festhaltung dieses Gases auf den Nebeltröpfchen auf ein Minimum reduzirt waren.

Ohne Zweifel spielt bei allen diesen Vorgängen der Grad der Luftabkühlung unter den Thaupunkt eine große Rolle, weil hiernach der Nebel bald in beständiger Auflösung und Wiederbildung begriffen ist und dadurch der Diffusion Vorschub zu leisten vermag, bald aber auch ein Konglomerat von ziemlich beständigen Wassertheilchen darstellt, das der Verbreitung von Gasen Widerstand bieten kann, so besonders in kalten Nächten, wenn es sich in Folge der Sistirung des Luftstroms stabil auf den Erdboden sedimentirt, worauf z. B. wahrscheinlich die für jene Zeit als Ausnahme zu bezeichnende Kohlensäureabnahme im Stadtinnern während der Nacht vom 29. Dezember zurückzuführen ist.

e) Die Luftfeuchtigkeit.

Während sich dieselbe in der kalten Jahreszeit einflußlos erwiesen hat, kann in der warmen Periode eine Abhängigkeit zwischen Kohlensäuregehalt und Luftfeuchtigkeit öfters nachgewiesen werden. Sowohl über der Stadt als im Stadtinnern ergab sich nämlich am 12. und 13.,

resp. 22. und 23., ferner am 27. und 28. Mai eine mit der Abnahme der Luftfeuchtigkeit verknüpfte Kohlensäureverringerung. Aus dem Umstande, daß die gleichen Beziehungen in der kalten Jahreszeit nicht zutrafen, kann geschlossen werden, daß dieselben während der warmen Periode mit einer Intensitätsänderung des aufwärts gerichteten Luftstroms zusammenhängen. Da nun aber wirklich feuchte Luft außerordentlich dazu befähigt ist, Wärmestrahlen zu absorbiren, so wird eine dem Erdboden aufruhende Schichte davon den Einfluß der Sonnenbestrahlung ganz bedeutend herabzusetzen und dadurch die Ausbildung nach oben gerichteter Luftströmungen zu schwächen vermögen, so daß in der That mit Verringerung der Luftfeuchtigkeit eine Kohlensäureabnahme aufzutreten vermögen wird. Diese Intensitätsänderung des Luftstroms macht sich auch im selben Sinne wie über der Stadt im Stadtinnern geltend, weil dadurch einerseits die Geschwindigkeit, andererseits wohl auch die Größe des Winkels zunimmt, womit Theile der Verbrennungsgase von den Schornsteinmündungen hinweg nach besonders saugenden Zentren hingerissen werden. Da im Allgemeinen während der warmen Jahreszeit die Luftfeuchtigkeit bei und nach Regenfällen sich steigert, so ist hiernach die Thatsache geklärt, daß unter derartigen Verhältnissen der Kohlensäuregehalt namentlich der über der Stadt befindlichen Luft zunahm, obwohl dem Regen an sich für jene Region eine diesbezügliche verringernde Wirkung zukommt.

f) Die Bewölkung.

Abgesehen von dem Einfluß verschiedengradiger Bewölkung in kalten Winternächten hat sich dieselbe besonders während der warmen Periode wirksam erwiesen, insofern sich mit zunehmender Bedeckung des Himmels vielfach eine Steigerung des Kohlensäuregehaltes ergab und umgekehrt.

So wurde für die Luft über der Stadt ein derartiges Abhängigkeitsverhältniß durch die Resultate vom 11. bis 15. Mai gefunden, welche ganz genau entsprechend den Bewölkungsgraden proportionale Zahlen für den Kohlensäuregehalt aufweisen, ferner dasselbe Ergebniß durch die Versuche vom 19. und 20., resp. 22. und 23. Mai, sowie 2. und 3. Juni erhalten. Auch für die Luft des Stadtinnern fällt das Zutreffen derselben Beziehungen mit den gleichen Tagen zusammen. Eine Erklärung hierfür bietet die innige Abhängigkeit zwischen Bewölkung einerseits und der

Sonnenbestrahlung und dadurch hervorgerufenen Luftbewegung nach aufwärts andrerseits. Da die Bewölkung aber auch eine Folgeerscheinung des verschiedenen Feuchtigkeitsgehaltes der Atmosphäre ist, «das Kapitäl einer unsichtbaren Säule von dampferfüllter Luft» bildet, so ist es sehr wahrscheinlich, daß nicht selten während der warmen Jahreszeit die Zunahme resp. Verringerung des Kohlensäuregehaltes als das Produkt der gemeinsamen gleichartigen Wirkung der von einander abhängigen beiden Faktoren betrachtet werden muß, was auch aus folgenden Beispielen hervorgeht.

Datum.	Kohlensäuregehalt.	Bewölkungsgrad.	Rel. Feuchtigkeit.
12. Mai	3,092	3,0	62,7
13. »	2,752	2,0	48,7
22. Mai	2,379	9,0	80,0
23. »	1,842	6,3	61,3
27. Mai	1,652	10,0	73,7
28. »	0,738	3,3	61,7.

Vorstehende Zahlen vermitteln nämlich, daß Kohlensäuregehalt, Bewölkungsgrad und Feuchtigkeit proportional zu einander zu- und abnehmen.

g) Die Lufttemperatur.

Dieselbe hat sich, wie bereits früher erörtert wurde, im Verlauf von Herbst und Winter von maßgebendstem Einfluß erwiesen. Es erscheint aber auch noch angezeigt, an der Hand der vorliegenden Resultate festzustellen, wie sich das Abhängigkeitsverhältniß zwischen der jeweils herrschenden Lufttemperatur und atmosphärischer Aufwärtsbewegung in der warmen Jahreszeit gestaltet. In dieser Beziehung läßt sich nun nicht verkennen, daß im Allgemeinen, nachdem der Luftstrom erst einmal zur vollkommenen Ausbildung gelangt ist, die ermittelten Zahlen namentlich über der Stadt den Schwankungen der durchschnittlichen Tagestemperaturen folgen, so z. B. über der Stadt besonders vom 11. bis 13. Mai; bemerkenswerth ist ferner, daß mit dem Tage (13. Mai), an welchem die Durchschnittstemperatur ihren bisherigen höchsten Stand (18,4°) erreicht, die nächtliche Kohlensäurezunahme über der Stadt in ihre Rechte

tritt, während bis dahin noch die Abnahme vorherrschte. Offenbar rührt dies daher, daß erst durch die hohe Temperatur des letzten Tages der aufwärts gerichtete Luftstrom jene Intensität erlangen konnte, um die Rauchmassen am Tage so rasch und in solch beträchtliche Höhen zu entführen, daß die Diffusionswirkung während des Herabsinkens in der folgenden Nacht jene des vorangegangenen Tages trotz Sistirung der Rauchproduktion zu übertreffen vermochte.

Weiterhin ist wichtig, daß der am 13. Mai über der Stadt bereits auf 2,752 gesunkene Kohlensäuregehalt am 19. ds. Mts. wieder zu der beträchtlichen Zahl 4,087 anwuchs, weil jener Versuchstag unmittelbar auf den am 17. und 18. Mai eingetretenen Kälterückfall (0°) folgte. Gleich am nächsten Tage (20. Mai) hingegen, der sich durch wiederum steigende Temperatur auszeichnete, fiel der Kohlensäuregehalt aber auf 1,666, weil der Luftstrom an diesem Tage in Folge der an der Erdoberfläche viel rascher und intensiver als in den höheren, bedeutend erkalteten Luftschichten sich vollziehenden Erwärmung sehr heftig gewesen sein mußte. Aus letzterem Grunde erfolgte trotz weitersteigender Temperatur am 21. Mai eine Kohlensäurezunahme über der Stadt, da sich mittlerweile auch die höheren Regionen wieder mehr erwärmt hatten und dadurch der Luftstrom an Intensität einbüßen mußte.

Späterhin kommt jedoch in der warmen Jahreszeit dieser Zusammenhang nicht mehr zum deutlichen Ausdruck, weil die Witterungserscheinungen sich mannigfaltigst, namentlich auch mit Land- und Platzregen verschiedenster Intensität kombinirten und bei dem je nach Umständen abweichenden Einfluß derselben derjenige der Temperatur verwischt werden mußte.

Bei der Abhängigkeit der Lufttemperatur von der Bewölkung müssen diese beiden Witterungsfaktoren vielfach in gleichem Grade an den Schwankungen des Kohlensäuregehaltes betheiligt gedacht werden; da aber ebenso zwischen relativer Feuchtigkeit und Temperatur der Luft eine ähnliche Beziehung besteht, außerdem auch die Feuchtigkeit, wie schon erwähnt, eng mit der Bewölkung zusammenhängt, so kann behauptet werden, daß während der warmen Jahreszeit der Kohlensäuregehalt der Stadtluft im Allgemeinen als eine von dem Gesammteffekt des Einflusses der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Bewölkung beherrschte Funktion zu erachten ist.

II. Kohlensäuregehalt der Vorstadtluft.

Durch die Lage des in dieser Reihe als Versuchspunkt benutzten agrikulturphysikalischen Laboratoriums der technischen Hochschule in einem durch das Vorhandensein vieler großer Plätze charakterisirten, äußeren Stadttheil glaubte sich Verf. berechtigt, diesem Abschnitte die Bezeichnung «Vorstadt» zusprechen zu dürfen. In Folge der jederzeit ermöglichten Zugänglichkeit des Versuchslokales konnten die Kohlensäurebestimmungen hier weit zahlreicher durchgeführt werden und erstreckten sich deshalb, von nothwendigen Unterbrechungen abgesehen, auf die Dauer von über einem Jahr, während welcher Zeit die Luft in drei verschiedenen Höhenlagen, nämlich 10 Meter und 2 Meter über dem Boden, außerdem die in direkter Berührung mit demselben stehende, höchstens 1 cm darüber befindliche Schichte, untersucht wurde; der in Betracht kommende Boden bestand in der Hauptsache aus lockerem Kalkgeröll. Versuchsanordnung und Ausführung waren wie im ersten Abschnitte. Die erhaltenen Resultate sind in den folgenden Tabellen zusammengefaßt.

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft (2 m über dem Boden).			Nächtliche Zu- und Abnahme in Proz. der Tagesbeobachtungen.		Witterungscharakter.					
						Tag.					Nacht.
	Tag.	Nacht.	Mittel.	Zunahme.	Abnahme.	Temperatur.	Bewölkung.	Relative Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	
1890											
26. Juni	4,383	—	—	—	—	22,7	1,0	54	0,7	R.	—
28. »	4,341	—	—	—	—	19,2	8,0	80	1,0	R.	R.
30. »	4,284	—	—	—	—	14,7	9,3	69	0,7	—	—
Mittel .	4,336										
2. Juli	3,862	—	—	—	—	16,1	9,0	61	3,0	R.	—
3. »	5,732	—	—	—	—	15,3	9,3	70	1,0	R.	—
9. »	5,403	4,268	4,836	—	21,01	18,9	6,0	66	1,3	—	—
10. »	3,062	—	—	—	—	18,4	9,3	69	2,7	R.	—
15. »	5,009	—	—	—	—	21,4	0,0	57	0,7	—	—
16. »	4,702	—	—	—	—	23,6	3,3	59	1,3	—	—
17. »	2,989	—	—	—	—	24,6	3,7	56	0,3	R.	—
22. »	3,224	—	—	—	—	16,0	9,3	60	2,0	—	—
28. »	4,148	—	—	—	—	20,4	1,0	65	1,0	—	—
29. »	—	4,658	—			—	—	—	—	—	—
Mittel .	4,237	—	—	—	—						
4. Aug.	3,912	—	—	—	—	14,6	9,7	88	1,3	R.	—
5. »	—	3,681	—	—	—	—	—	—	—	—	R.
6. »	3,431	—	—	—	—	17,9	9,0	67	0,7	—	—
7. »	3,763	—	—	—	—	17,0	9,0	87	0,7	—	—

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft (2 m über dem Boden). Tag.	Nacht.	Mittel.	Nächtliche Zu- und Abnahme in Proz. der Tagesbeobachtungen. Zunahme.	Abnahme.	Witterungscharakter. Tag. Temperatur.	Bewölkung.	Relative Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	Nacht.
8. Aug.	—	4,279	—	—	—	—	—	—	—	—	R.
9. »	3,806	—	—	—	—	18,5	6,3	82	1,0	Nb.	—
11. »	3,798	3,587	3,692	—	5,55	20,1	7,7	76	2,7	R.	R.
13. »	—	3,066	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14. »	3,743	—	—	—	—	17,0	9,7	81	1,7	—	—
15. »	3,947	—	—	—	—	16,9	7,3	73	0,3	—	—
18. »	5,156	4,704	4,930	—	8,77	25,3	1,0	55	0,3	—	R.
25. »	6,246	—	—	—	—	10,9	10,0	90	1,7	R.	—
26. »	3,935	4,088	4,012	3,88	—	13,7	7,3	69	2,7	R.	R.
27. »	3,241	3,902	3,572	20,39	—	18,8	6,3	52	0,7	—	—
28. »	3,735	3,893	3,814	4,23	—	15,0	9,3	75	0,7	—	R.
Mittel .	**4,059**	**3,900**	—								
9. Sept.	6,617	3,834	5,226	—	42,06	11,6	9,3	81	0,7	R.	—
10. »	5,937	—	—	—	—	13,3	2,7	79	0,7	—	—
14. »	3,659	—	—	—	—	11,1	2,7	69	1,7	—	—
16. »	2,969	3,483	3,226	17,31	—	12,7	6,3	76	1,3	—	—
17. »	4,017	—	—	—	—	13,0	3,7	81	0,7	—	—
23. »	3,726	5,458	4,592	46,48	—	18,1	7,7	68	1,0	—	—
30. »	3,547	4,058	3,802	14,41	—	17,4	0,3	71	1,0	—	—
Mittel .	**4,353**	—	—								
19. Okt.	4,373	4,592	4,482	5,01	—	4,9	10,0	88	3,7	R.	R.
20. »	4,428	4,544	4,486	2,62	—	4,7	10,0	91	1,3	R.	—
28. »	4,493	4,765	4,629	6,05	—	1,7	9,7	76	1,3	—	—
29. »	5,372	4,913	5,142	—	8,54	1,1	4,0	73	0,3	—	—
31. »	3,949	4,229	4,089	7,09	—	1,5	9,3	88	0,7	R. S.	R.
Mittel .	**4,527**	**4,608**	**4,567**								
3. Nov.	4,519	—	—	—	—	7,2	8,0	74	2,3	R.	—
10. »	6,123	5,469	5,796	—	10,68	1,2	9,3	99	0,3	Nb.	R.
12. »	5,013	5,004	5,008	—	0,18	3,5	10,0	92	1,3	R.	R.
17. »	4,476	4,302	4,389	—	3,89	7,8	10,0	91	2,3	R.	R.
24. »	4,074	5,198	4,636	27,59	—	9,7	8,7	65	7,3	R. S.	S
25. »	4,769	6,418	5,593	34,58	—	0,3	9,3	92	2,3	S.	S.
Mittel .	**4,829**	**5,278**	**5,053**								
1. Dez.	4,327	5,999	5,163	38,64	—	− 5,5	7,7	90	1,3	Nb.	—
2. »	5,237	5,388	5,312	2,88	—	− 2,1	9,3	92	0,3	Nb.	—
3. »	5,078	5,074	5,076	—	0,07	− 0,2	10,0	93	1,0	Nb.	Nb.
4. »	4,635	4,685	4,660	1,09	—	− 1,1	10,0	98	0,3	Nb.	—
6. »	6,053	4,506	5,279	—	25,55	− 1,7	10,0	96	1,7	Nb.	—
8. »	4,201	4,589	4,395	9,23	—	− 4,7	6,7	90	1,0	—	—
9. »	4,519	4,569	4,544	1,10	—	− 6,3	7,0	93	1,0	—	—
12. »	4,723	—	—	—	—	− 8,0	1,3	76	2,0	—	—
16. »	3,402	5,021	4,212	47,59	—	− 7,1	9,7	94	0,7	—	—
17. »	4,267	—	—	—	—	− 7,7	10,0	95	1,7	—	—
19. »	5,189	—	—	—	—	− 6,3	10,0	90	0,3	—	—
20. »	5,602	—	—	—	—	− 1,9	3,0	90	0,0	—	—
22. »	5,747	5,465	5,606	—	4,90	−10,6	9,0	93	0,0	Nb.	Nb.
27. »	4,562	3,203	3,882	—	29,79	− 6,0	10,0	94	1,0	Nb.	—
28. »	3,152	4,368	3,760	38,58	—	−10,5	5,7	99	1,0	—	—
29. »	4,077	4,338	4,208	6,40	—	−12,6	6,7	99	0,0	—	Nb.
30. »	4,042	5,149	4,596	27,38	—	− 9,4	9,0	96	0,3	—	—
Mittel .	**4,641**	**4,797**	**4,668**								

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft. 1 cm über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	2 m über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	10 m über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	Nächtliche Zu- und Abnahme in Prozenten der Tagesbeobachtungen. 1 cm über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	2 m über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	10 m über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	Witterungscharakter. Tag. Temperatur.	Bewölkung.	Relat. Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	Nacht.
1891																					
2. Jan.	6,628	5,897	6,262	5,843	5,261	5,552	7,995	5,511	6,753	—	11,03	—	9,96	—	31,07	- 8,3	5,0	86	0,3	Nb.	—
3. »	5,486	5,569	5,527	4,774	5,437	5,106	5,792	5,377	5,584	1,51	—	13,88	—	—	7,19	- 4,1	6,0	86	0,3	—	—
5. »	4,979	4,774	4,877	4,467	4,817	4,642	6,017	4,584	5,300	—	4,12	7,84	—	—	23,81	- 3,5	10,0	96	1,0	S.	S.
7. »	5,729	4,859	5,294	5,499	4,847	5,173	4,854	4,732	4,793	—	15,19	—	11,86	—	2,51	-11,1	9,3	93	1,3	—	S.
8. »	4,939	4,299	4,619	4,623	4,739	4,681	4,417	4,642	4,529	—	12,96	2,51	—	5,09	—	- 9,9	10,0	93	1,0	S.	—
12. »	6,375	6,234	6,304	6,422	5,272	5,847	6,669	5,759	6,214	—	2,21	—	17,91	—	13,65	- 4,4	10,0	98	2,0	Nb.S.	S.
13. »	5,569	5,624	5,597	5,469	6,059	5,764	5,604	—	—	0,99	—	10,79	—	—	—	- 3,2	10,0	96	1,3	Nb.	—
14. »	4,981	5,334	5,157	4,602	5,390	4,996	5,314	5,694	5,504	7,09	—	14,41	—	7,15	—	- 3,7	10,0	98	2,7	S.	S.
15. »	4,947	4,743	4,845	4,947	4,956	4,952	4,947	5,099	5,023	—	4,12	0,18	—	3,08	—	- 6,7	10,0	93	3,7	S.	S.
21. »	—	—	—	5,389	4,930	5,159	—	—	—	—	—	—	8,52	—	—	- 5,3	9,3	90	1,7	—	S.
22. »	5,724	5,615	5,669	4,886	4,804	4,845	5,180	5,431	5,305	—	1,90	—	1,68	4,84	—	- 3,4	9,7	89	3,0	—	—
23. »	5,159	5,152	5,155	5,092	5,011	5,052	5,656	5,289	5,472	—	0,13	—	1,59	—	6,49	- 2,0	8,0	87	2,0	—	—
24. »	4,974	5,303	5,138	4,628	5,011	4,819	4,765	5,109	4,937	6,61	—	8,28	—	7,22	—	3,5	7,7	80	3,3	—	—
25. »	4,378	5,047	4,712	4,378	5,443	4,910	5,065	4,503	4,784	15,28	—	24,32	—	—	11,09	2,7	8,0	73	4,7	—	—
26. »	4,387	5,054	4,720	4,048	4,559	4,303	4,550	4,855	4,702	15,20	—	12,62	—	6,70	—	1,2	3,3	78	0,7	—	—
27. »	5,459	5,739	5,599	4,938	5,285	5,112	5,612	5,361	5,487	5,13	—	7,84	—	—	4,47	1,5	1,0	78	0,3	—	—
28. »	4,550	4,928	4,739	4,621	4,801	4,711	5,054	5,246	5,150	8,31	—	3,89	—	3,79	—	2,1	10,0	76	1,0	—	—
29. »	4,013	4,378	4,196	4,025	4,372	4,198	4,173	4,186	4,179	9,09	—	8,62	—	0,31	—	- 1,4	1,3	72	0,7	—	—
30. »	5,224	5,043	5,133	4,701	4,964	4,832	4,686	4,682	4,684	—	3,46	5,59	—	—	0,01	0,4	4,3	73	1,0	—	—
Mittel	**5,194**	**5,199**	**5,196**	**4,877**	**5,050**	**4,963**	**5,353**	**5,063**	**(5,208)**												
3. Feb	4,505	5,071	4,788	4,511	4,978	4,744	4,482	4,518	4,500	12,56	—	10,35	—	0,80	—	3,8	10,0	78	1,0	—	S.
4. »	4,162	5,039	4,600	4,162	4,558	4,360	4,162	4,669	4,415	21,06	—	9,51	—	12,18	—	1,1	10,0	94	2,7	S.	—
6. »	4,170	4,323	4,247	4,364	4,359	4,361	4,662	4,646	4,654	3,67	—	—	0,11	—	0,35	- 2,6	10,0	74	1,3	—	—
7. »	3,480	4,000	3,740	3,319	3,860	3,589	3,796	3,809	3,802	14,94	—	16,30	—	0,35	—	- 5,9	2,3	80	2,7	Nb.	—
8. »	3,790	3,938	3,864	3,790	3,800	3,795	3,789	3,767	3,778	3,90	—	0,27	—	—	0,58	- 7,3	1,0	79	2,0	Nb.	—
9. »	3,815	4,281	4,048	3,834	4,315	4,074	4,142	4,263	4,202	12,21	—	12,55	—	2,92	—	- 8,3	2,3	81	1,0	Nb.	—

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft.									Nächtliche Zu- und Abnahme in Prozenten der Tagesbeobachtungen.						Witterungscharakter.					
	1 cm über dem Boden.			2 m über dem Boden.			10 m über dem Boden.			1 cm über dem Boden.		2 m über dem Boden.		10 m über dem Boden.		Tag.					Nacht.
	Tag.	Nacht.	Mittel.	Tag.	Nacht.	Mittel.	Tag.	Nacht.	Mittel.	Zunahme.	Abnahme.	Zunahme.	Abnahme.	Zunahme.	Abnahme.	Temperatur.	Bewölkung.	Relat. Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	
12. Feb.	4,531	4,500	4,516	4,745	4,363	4,554	5,203	4,128	4,665	—	0,68	—	8,05	—	20,66	-3,6	10,0	89	3,0	S.	S.
13. »	4,928	4,597	4,762	4,434	4,584	4,509	4,550	4,747	4,648	—	6,72	3,38	—	4,33	—	-2,9	10,0	90	2,7	S.	S.
14. »	3,626	—	—	3,798	4,130	3,964	3,951	4,075	4,013	—	—	8,74	—	3,14	—	-9,3	3,3	84	1,0	—	—
15. »	4,091	4,113	4,102	3,584	3,613	3,598	3,729	3,897	3,813	0,53	—	0,81	—	4,50	—	-5,2	8,7	74	0,3	—	—
16. »	4,629	5,155	4,892	4,347	4,508	4,427	4,292	4,788	4,540	11,36	—	3,70	—	11,56	—	1,0	10,0	74	0,0	—	—
17. »	4,691	4,284	4,487	4,535	4,350	4,442	5,349	4,784	5,066	—	8,68	—	4,08	—	10,56	1,2	4,0	89	0,3	Nb.	Nb.
18. »	4,170	4,694	4,432	4,217	4,394	4,305	4,335	4,681	4,508	12,56	—	4,19	—	7,98	—	-0,7	7,7	94	0,7	Nb.	Nb.
21. »	4,362	3,281	3,821	4,255	3,304	3,779	4,170	3,445	3,807	—	24,78	—	22,35	—	17,38	-0,9	1,7	76	1,3	Nb.	—
24. »	—	—	—	—	—	—	5,646	5,985	5,815	—	—	—	—	6,00	—	-1,4	2,7	83	0,3	Nb.	—
25. »	3,812	4,320	4,066	3,830	4,575	4,202	3,797	4,493	4,145	13,33	—	19,45	—	18,33	—	0,1	2,7	74	0,3	Nb.	—
26. »	4,133	3,981	4,057	3,966	4,424	4,195	4,134	4,154	4,144	—	3,68	11,55	—	0,48	—	1,4	1,7	72	0,7	Nb.	—
Mittel	**4,181**	**4,372**	**(4,276)**	**4,196**	**4,258**	**4,227**	**4,364**	**4,402**	**4,383**												
3. März	4,579	4,347	4,463	4,455	3,903	4,179	4,403	3,825	4,114	—	5,06	—	12,39	—	13,13	4,2	10,0	80	3,0	R. S.	S.
4. »	3,834	4,385	4,109	3,874	4,106	3,990	4,356	3,858	4,107	14,37	—	5,09	—	—	11,43	1,2	9,7	79	3,3	S.	—
5. »	4,007	4,014	4,010	4,055	4,234	4,144	3,659	4,013	3,836	0,17	—	4,41	—	9,69	—	5,0	9,7	68	4,7	—	—
6. »	4,045	3,897	3,971	4,082	4,207	4,144	4,221	4,407	4,314	—	3,65	3,06	—	4,40	—	8,5	4,3	58	3,0	—	—
9. »	3,881	2,589	3,235	3,715	3,570	3,642	3,879	3,572	3,726	—	33,29	—	3,90	—	7,91	9,4	6,7	55	0,7	—	—
10. »	3,572	3,741	3,656	3,339	3,402	3,370	3,334	3,389	3,362	4,73	—	1,88	—	1,65	—	11,8	4,7	57	0,3	—	—
14. »	3,909	3,551	3,730	3,732	3,909	3,820	3,199	3,906	3,552	—	9,16	4,74	—	22,10	—	3,2	9,3	82	0,0	Nb.	—
15. »	3,354	3,877	2,410	3,349	3,881	3,615	3,352	3,672	3,512	15,59	—	15,89	—	9,55	—	5,9	6,3	66	1,3	—	—
19. »	4,114	4,717	4,416	4,119	4,018	4,068	3,741	4,367	4,054	14,65	—	—	2,45	16,75	—	4,5	7,3	65	4,3	—	S.
20. »	3,716	4,263	3,989	3,755	4,311	4,033	4,069	3,907	3,988	14,72	—	14,81	—	—	3,98	4,4	9,3	77	1,0	S.	—
21. »	3,215	31,604	17,409	3,245	4,252	3,748	3,572	3,863	3,717	880,53	—	31,03	—	8,15	—	0,4	8,3	91	1,3	S.	S.
22. »	3,512	4,157	3,834	3,545	3,129	3,337	3,160	3,118	3,139	18,36	—	—	11,74	—	1,32	-1,1	10,0	86	2,0	S.	S.
23. »	3,356	9,502	6,429	3,223	7,849	5,536	3,351	3,872	3,611	183,13	—	143,53	—	15,55	—	-1,9	10,0	84	2,7	S.	S.
26. »	5,389	4,203	4,796	3,651	3,503	3,577	3,303	3,152	3,227	—	22,01	—	4,05	—	4,57	7,7	9,7	54	3,7	—	R. S.
Mittel	**3,892**	**6,346**	**5,119**	**3,724**	**4,162**	**3,943**	**3,685**	**3,780**	**3,732**												

6. April	4,925	4,629	4,777	4,222	5,164	4,693	3,694	4,274	3,984	—	6,01	22,31	—	15,70	—	7,9	5,3	73	1,7	R.	—
7. »	8,474	4,645	6,559	4,237	4,288	4,262	3,707	3,931	3,819	—	42,82	1,20	—	6,04	—	6,5	10,0	87	1,8	R.	—
8. »	3,778	4,069	3,923	4,318	3,538	3,928	3,598	4,776	4,187	7,70	—	—	18,06	4,95	—	5,4	8,0	77	2,7	R.	—
9. »	4,094	4,079	4,087	4,094	4,079	4,086	3,916	4,612	4,264	—	0,36	—	0,36	17,77	—	5,4	5,0	70	1,7	—	—
10. »	4,081	—	—	4,080	4,278	4,179	4,435	4,813	4,624	—	—	4,85	—	8,52	—	4,2	9,7	79	1,7	Nb.	—
13. »	4,577	5,504	5,040	4,577	3,727	4,152	4,049	4,082	4,066	20,25	—	—	18,57	0,81	—	4,9	9,7	66	1,0	R.	—
17. »	5,172	4,379	4,776	4,281	3,853	4,067	5,351	4,028	4,689	—	15,33	—	9,99	—	24,72	5,2	8,3	71	4,0	R. S	—
20. »	4,693	3,977	4,335	4,693	3,977	4,335	4,866	4,323	4,594	—	15,26	—	15,26	—	11,16	5,5	1,3	65	2,3	—	—
21. »	2,852	2,964	2,908	3,144	2,964	3,054	3,842	3,299	3,570	3,92	—	—	5,72	—	14,13	7,9	2,0	54	1,7	—	—
29. »	4,224	4,914	4,569	—	—	—	3,520	2,808	3,164	16,33	—	—	—	—	20,23	10,4	8,0	73	1,3	R.	—
30. »	3,330	1,755	2,542	3,330	1,931	2,630	3,330	2,633	2,982	—	47,29	—	42,01	—	20,93	15,7	2,0	47	2,7	—	—
Mittel	**4,563**	**4,091**	**(4,327)**	**4,098**	**3,780**	**3,939**	**4,028**	**3,962**	**3,995**												
4. Mai	4,114	3,910	4,012	3,816	4,268	4,042	3,816	4,268	4,042	—	4,96	11,84	—	11,84	—	15,9	9,7	77	1,0	—	—
5. »	3,394	3,560	3,477	3,036	4,094	3,565	3,394	4,094	3,744	4,89	—	34,84	—	20,62	—	15,0	10,0	71	2,0	—	—
6. »	—	—	—	3,630	3,588	3,609	—	—	—	—	—	—	1,16	—	—	15,7	9,3	55	2,0	—	R.
7. »	—	—	—	3,781	3,459	3,620	—	—	—	—	—	—	8,52	—	—	15,1	9,7	79	1,0	—	R.
8. »	—	—	—	2,912	3,774	3,343	—	—	—	—	—	29,60	—	—	—	13,8	10,0	75	1,7	—	R.
11. »	4,107	16,718	10,412	3,215	3,557	3,386	3,572	3,201	3,387	307,06	—	10,64	—	—	10,38	17,6	7,7	53	2,0	—	—
12. »	3,379	3,379	3,379	3,379	3,023	3,201	3,379	3,379	3,379	0,00	0,00	—	10,54	0,00	0,00	18,3	3,0	63	2,0	—	—
13. »	—	—	—	3,007	3,570	3,288	—	—	—	—	—	18,72	—	—	—	18,4	2,0	49	0,7	—	—
14. »	—	—	—	2,890	3,065	2,977	—	—	—	—	—	6,06	—	—	—	17,8	5,7	47	2,7	—	—
20. »	—	—	—	3,928	3,423	3,676	—	—	—	—	—	—	12,86	—	—	17,0	6,0	68	0,7	—	—
21. »	4,239	2,512	3,375	—	—	—	3,355	4,666	4,010	—	40,74	—	—	39,08	—	20,0	5,7	62	1,3	—	—
22. »	2,860	2,509	2,684	1,966	2,860	2,413	2,324	2,860	2,592	—	12,27	45,47	—	—	23,06	11,0	9,0	80	1,7	R.	—
25. »	—	—	—	2,891	2,845	2,868	—	—	—	—	—	—	1,59	—	—	14,3	5,0	64	2,0	—	R.
26. »	—	—	—	2,508	1,603	2,055	—	—	—	—	—	—	36,09	—	—	12,7	7,7	72	0,7	—	R.
27. »	—	—	—	1,782	2,468	2,125	—	—	—	—	—	38,48	—	—	—	11,2	10,0	74	1,3	—	—
28. »	2,303	2,480	2,391	1,633	2,132	1,882	—	—	—	7,69	—	30,55	—	—	—	14,4	3,3	62	0,7	—	—
Mittel	**3,485**	**5,009**	**4,247**	**2,958**	**3,182**	**3,070**	**3,307**	**3,745**	**3,526**												
2. Juni	—	—	—	4,838	3,941	4,389	—	—	—	—	—	—	18,54	—	—	20,1	6,3	60	2,0	—	R.
3. »	—	—	—	4,674	4,287	4,480	—	—	—	—	—	—	8,28	—	—	14,0	10,0	85	2,0	R.	—
4. »	—	—	—	3,468	3,468	3,468	—	—	—	—	—	0,00	0,00	—	—	19,1	6,3	67	0,0	—	—
5. »	—	—	—	3,623	4,369	3,996	—	—	—	—	—	20,59	—	—	—	17,6	8,0	73	2,0	R.	—
8. »	4,662	3,437	4,049	3,765	4,523	4,144	—	—	—	—	26,28	20,13	—	—	—	21,2	6,3	67	1,7	—	—
9. »	3,641	3,188	3,414	3,823	3,542	3,682	3,641	3,779	3,710	—	12,44	—	7,35	3,79	—	17,9	5,0	55	2,0	R.	—
10. »	3,793	3,579	3,686	3,793	3,938	3,865	3,432	3,938	3,685	—	5,64	3,82	—	14,74	—	15,0	7,7	67	3,0	R.	R.

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft.									Nächtliche Zu- und Abnahme in Prozenten der Tagesbeobachtungen.						Witterungscharakter.					
	1 cm über dem Boden.			2 m über dem Boden.			10 m über dem Boden.			1 cm über dem Boden.		2 m über dem Boden.		10 m über dem Boden.		Tag.					Nacht.
	Tag.	Nacht.	Mittel.	Tag.	Nacht.	Mittel.	Tag.	Nacht.	Mittel.	Zunahme.	Abnahme.	Zunahme.	Abnahme.	Zunahme.	Abnahme.	Temperatur.	Bewölkung.	Relat. Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	
11. Juni	3,344	3,218	3,281	3,520	3,218	3,369	3,520	3,218	3,369	—	3,77	—	8,58	—	8,58	12,8	8,7	77	0,3	R.	—
12. »	2,995	2,784	2,889	3,172	2,958	3,065	2,819	2,784	2,802	—	7,05	—	6,74	—	1,24	10,7	9,0	61	3,0	—	—
13. »	2,973	3,145	3,059	3,147	3,495	3,321	3,147	3,495	3,321	5,78	—	11,06	—	11,05	—	10,8	5,0	59	2,0	—	—
14. »	3,341	3,330	3,335	3,693	3,681	3,687	3,693	3,330	3,511	—	0,33	—	0,33	—	9,79	13,5	8,3	55	3,3	R.	R.
15. »	3,361	3,712	3,536	3,361	3,889	3,625	3,714	3,712	3,713	10,44	—	15,71	—	—	0,06	16,2	8,7	59	2,7	—	R.
16. »	3,366	3,318	3,342	3,366	3,659	3,512	3,366	3,659	3,512	—	1,42	8,70	—	8,67	—	12,1	9,3	80	3,0	R.	R.
17. »	3,497	3,301	3,399	3,672	3,823	3,747	3,672	3,997	3,834	—	5,60	4,44	—	8,85	—	11,7	8,0	73	0,3	R.	—
18. »	3,143	3,306	3,224	3,841	3,490	3,665	3,841	3,490	3,665	5,19	—	—	9,14	—	9,14	13,6	7,7	72	1,3	—	R.
19. »	3,507	3,510	3,508	3,682	4,037	3,859	3,507	4,037	3,772	0,09	—	9,64	—	15,11	—	11,0	10,0	88	0,7	—	R.
28. »	4,304	3,586	3,945	2,511	3,586	3,048	—	—	—	—	16,68	42,81	—	—	—	20,8	2,7	60	1,3	—	—
29. »	2,892	3,053	2,972	2,892	3,412	3,152	—	—	—	5,57	—	18,26	—	—	—	25,6	1,3	47	0,0	—	—
30. »	1,805	2,165	1,985	—	—	—	—	—	—	19,94	—	—	—	—	—	25,0	3,0	52	1,0	—	—
Mittel	**3,375**	**3,242**	**3,308**	**3,602**	**3,739**	**3,670**	**3,487**	**3,585**	**3,536**												
9. Juli	5,002	3,206	4,104	4,465	3,562	4,013	3,180	3,384	3,282	—	35,91	—	20,22	6,41	—	15,2	8,3	68	2,7	R. H.	R.
10. »	3,384	3,028	3,206	3,206	3,384	3,295	3,384	3,028	3,206	—	10,52	5,55	—	—	10,52	15,0	9,0	70	1,3	—	R.
11. »	2,493	2,137	2,315	2,315	2,493	2,404	2,137	2,315	2,226	—	14,28	7,69	—	8,33	—	15,0	9,7	71	2,0	—	—
31. »	5,001	3,661	4,331	—	—	—	—	—	—	—	26,99	—	—	—	—	16,2	10,0	75	1,0	—	—
Mittel	**3,970**	**3,008**	**3,489**	**3,329**	**3,146**	**3,237**	**2,900**	**2,909**	**2,904**												
1. Aug.	3,384	3,374	3,379	—	—	—	—	—	—	—	0,29	—	—	—	—	12,8	10,0	83	1,3	R.	R.
24. »	4,057	3,258	3,657	3,880	3,089	3,484	3,351	2,915	3,133	—	19,69	—	20,39	—	13,01	12,3	9,7	84	2,3	R.	R.
25. »	2,469	2,767	2,618	2,646	3,113	2,879	2,822	3,482	3,152	12,07	—	17,65	—	23,38	—	16,4	1,3	67	0,0	—	—
26. »	2,822	3,977	3,399	2,469	3,632	3,050	2,293	4,323	3,308	40,93	—	47,10	—	87,66	—	19,6	4,3	59	1,0	—	—
27. »	2,838	2,782	2,810	2,661	2,957	2,809	2,838	3,652	3,245	—	1,97	11,13	—	28,67	—	20,9	0,0	64	0,3	—	—
28. »	3,527	3,113	3,320	3,527	3,286	3,407	3,527	3,805	3,666	—	11,74	—	6,69	7,88	—	19,4	5,3	62	1,3	—	R.
29. »	2,455	2,587	2,521	2,806	2,587	2,697	3,157	2,932	3,044	5,38	—	—	7,80	—	7,12	17,6	7,3	73	0,7	—	—
Mittel	**3,079**	**3,123**	**3,101**	**2,998**	**3,110**	**3,054**	**2,998**	**3,518**	**3,258**												

26. Sept.	6,030	4,904	5,467	4,434	4,203	4,318	3,547	4,554	4,050	—	18,67	—	5,21	28,39	—	11,8	0,7	76	1,0	—	—
27. »	3,592	3,791	3,691	3,592	3,446	3,519	4,131	3,619	3,875	5,54	—	—	4,06	—	12,39	11,8	9,7	79	2,0	R.	R.
28. »	2,801	3,080	2,940	2,801	3,251	3,026	2,973	3,764	3,368	9,96	—	16,07	—	26,60	—	19,9	2,3	78	1,7	—	—
29. »	3,452	3,638	3,545	3,107	3,293	3,200	2,934	3,986	3,460	5,39	—	5,98	—	35,48	—	13,3	0,3	69	0,7	—	—
Mittel	**3,969**	**3,853**	**3,911**	**3,483**	**3,548**	**3,516**	**3,396**	**3,981**	**3,688**												
27. Okt.	5,218	5,376	5,297	3,826	3,835	3,830	3,652	4,358	4,005	3,03	—	0,23	—	19,33	—	9,2	10,0	92	2,0	—	—
28. »	3,327	3,696	3,511	2,627	3,168	2,897	3,327	3,168	3,248	11,09	—	20,59	—	—	4,78	8,7	4,0	71	4,0	—	N.
29. »	2,960	3,971	3,466	3,135	3,453	3,294	3,135	3,281	3,208	34,15	—	10,14	—	4,65	—	0,9	3,0	76	2,0	—	S.
30. »	4,685	4,597	4,641	3,979	4,256	4,117	3,979	4,256	4,118	—	18,79	6,96	—	6,96	—	-1,4	6,7	76	1,3	—	—
31. »	3,788	4,458	4,123	3,272	3,601	3,437	3,616	4,287	3,952	17,69	—	10,06	—	18,56	—	-3,0	2,3	70	1,0	—	S.
Mittel	**3,996**	**4,419**	**4,207**	**3,368**	**3,663**	**3,516**	**3,542**	**3,870**	**3,706**												
2. Nov.	3,595	6,239	4,917	—	—	—	—	—	—	73,54	—	—	—	—	—	1,2	9,7	85	2,7	—	—
3. »	4,139	5,488	4,813	—	—	—	—	—	—	32,59	—	—	—	—	—	0,4	3,7	75	1,3	—	N.
4. »	3,663	4,104	3,883	—	—	—	—	—	—	12,04	—	—	—	—	—	-0,2	7,0	77	1,0	—	S.
5. »	3,817	4,445	4,131	—	—	—	—	—	—	16,46	—	—	—	—	—	0,5	5,0	71	1,7	S.	S.
6. »	3,302	3,400	3,351	—	—	—	—	—	—	2,97	—	—	—	—	—	-3,7	0,3	66	1,3	—	—
11. »	4,429	5,793	5,111	4,429	4,915	4,672	4,075	5,793	4,934	30,79	—	10,98	—	42,16	—	4,2	8,3	75	0,3	—	R.
12. »	4,949	4,562	4,756	4,242	3,860	4,051	4,419	3,860	4,139	—	7,82	—	9,00	—	12,65	2,4	6,3	94	0,7	R. S.	R.
13. »	3,750	5,506	4,628	3,750	4,085	3,918	3,929	4,440	4,184	46,83	—	8,93	—	13,01	—	4,3	8,7	89	1,0	—	—
14. »	4,664	5,305	4,984	3,766	3,536	3,651	4,305	4,244	4,274	13,75	—	—	6,11	—	1,41	4,7	7,0	97	0,7	N. R	R.
16. »	3,710	5,574	4,642	3,710	3,135	3,422	4,947	4,877	4,912	50,24	—	—	10,11	—	1,41	5,9	7,7	81	1,7	—	R.
17. »	3,741	3,488	3,614	3,741	3,488	3,614	4,453	4,012	4,232	—	6,76	—	6,76	—	9,90	6,3	9,3	74	3,7	—	R.
18. »	4,008	3,619	3,813	3,659	3,963	3,811	5,054	4,825	4,939	—	9,70	8,31	—	—	4,53	7,2	9,7	78	0,3	—	—
26. »	4,971	4,558	4,764	4,261	3,859	4,060	4,794	4,207	4,500	—	8,31	—	9,43	—	12,25	1,8	10,0	95	0,7	N.	R.
27. »	4,072	3,481	3,776	3,712	3,307	3,509	5,134	4,177	4,655	—	14,51	—	10,91	—	18,64	2,6	10,0	84	2,7	S. R.	—
Mittel	**4,058**	**4,683**	**4,370**	**3,919**	**3,794**	**3,856**	**4,568**	**4,493**	**4,530**												
7. Dez.	3,883	4,883	4,383	3,883	4,189	4,036	4,589	4,883	4,736	25,79	—	7,87	—	6,41	—	4,2	5,7	79	1,0	—	R.
8. »	4,369	4,184	4,276	3,845	3,839	3,842	4,544	4,357	4,450	—	4,23	—	0,16	—	4,11	5,2	9,3	62	5,7	—	—
9. »	3,186	3,848	3,517	3,541	3,321	3,431	4,426	4,920	4,223	20,78	—	—	6,21	9,17	—	1,0	7,0	71	0,7	N.	—
10. »	3,712	3,165	3,438	4,066	3,165	3,616	4,949	4,219	4,584	—	14,74	—	22,16	36,86	—	4,5	4,7	68	0,3	—	—
11. »	4,231	4,673	4,452	3,878	3,981	3,929	5,112	5,019	5,065	10,44	—	2,66	—	30,11	—	7,1	6,7	64	5,7	—	—
15. »	4,212	4,909	4,560	4,212	3,857	4,034	4,914	4,914	4,914	16,55	—	—	8,43	0,00	0,00	3,3	9,7	77	3,0	—	—
16. »	4,780	15,403	10,091	4,072	3,718	3,895	5,489	—	—	222,24	—	—	9,52	—	—	6,6	10,0	81	4,0	—	—
21. »	3,968	4,888	4,428	—	—	—	—	—	—	23,18	—	—	—	—	—	-11,2	2,3	89	1,7	—	—
Mittel	**4,043**	**5,774**	**4,908**	**3,928**	**3,724**	**3,826**	**4,860**	**4,569**	**(4,714)**												

Unter Ausschluß der extremen, nur vereinzelt vorkommenden Daten würden sich stellen die

Schwankungen des Kohlensäuregehaltes.

		Grenzen.	Differenz. Absolut.	Differenz. In Proz. d. Minimalgeh.
1 cm üb. d. Bod.	Tag	1,805—6,628	4,823	267,20
	Nacht	2,137—6,234	4,097	191,71
	Mittel	1,971—6,431	4,460	229,45
2 m üb. d. Bod.	Tag	1,633—6,422	4,789	293,26
	Nacht	1,603—7,849	6,246	389,64
	Mittel	1,618—7,135	5,517	341,45
10 m üb. d. Bod.	Tag	2,137—7,995	5,858	274,12
	Nacht	2,315—5,985	3,670	158,53
	Mittel	2,226—6,990	4,764	216,32.

Aus sämmtlichen vorangestellten Zahlen ergiebt sich Folgendes:

1) Die Vorstadtluft ist im Allgemeinen in sämmtlichen Höhenlagen sowohl bei Tag als bei Nacht während des Winters kohlensäurereicher als im Sommer;

2) dieselbe weist in allen Schichten bei Nacht bald eine Zunahme, bald eine Abnahme der Kohlensäure gegen den vorangegangenen Tag auf;

3) die Schwankungen des Kohlensäuregehaltes in sämmtlichen Höhenlagen sind fortwährende und beträchtliche;

4) der größte Kohlensäuregehalt entfällt unter den drei Luftschichten bald auf die höchste, bald auf die am Boden befindliche, in vereinzelten Fällen auch auf die zwischen beiden gelegene Region.

In Bezug auf die zunächst auch hier wiederum aufzuwerfende Frage nach den Kohlensäurequellen der untersuchten Luftschichten ist hervorzuheben, daß vermöge der Lage der Vorstadt eine äußerst mannigfaltige Lieferung des betreffenden Gases dorthin stattfinden muß. Denn die Vorstadtluft verfügt nicht nur über ihre eigenen, durch die Rauchpro-

duktion daselbst bedingten Kohlensäurequellen, sondern es findet auch, wie bereits erörtert, unter Umständen ein Bezug davon durch die Wanderung der über der Stadt befindlichen Rauchmassen nach der Peripherie statt; außerdem ist vielfach ein Eindringen der Luft vom freien Lande her ermöglicht, der, nach Späterem, ebenfalls eine kohlensäureliefernde Wirkung zukommen kann. Die schon dadurch hervorgerufene Vielseitigkeit des Kohlensäurebezuges wird für die vorliegenden Luftschichten durch die Nähe mehrerer großer Plätze erhöht, an welchen ebenfalls, und zwar im Winter hauptsächlich bei Nacht, ein Eindringen von — sei es im Stadtzentrum oder in der Vorstadt produzirten — Verbrennungsgasen stattfinden kann, im Sommer vermöge der daselbst vorhandenen mit Pflanzen bestandenen Flächen und der darüber durch Verdunstung erzeugten Temperaturerniedrigung eine je nach Sonnenstand ungemein wechselnde Beeinflussung der aufwärts gerichteten Luftströme und dadurch eine Diffusion von Kohlensäure in allen möglichen Wirkungsstärken zu Stande kommen muß. In Folge der durch minder dichte Bebauung der Vorstadt bedingten geringeren Rauchproduktion ist es weiterhin ermöglicht, daß für den jeweiligen Kohlensäuregehalt der Luft daselbst auch eine Bezugsquelle belangreich werden kann, welche bisher außer Acht gelassen wurde, nämlich die aus dem Boden in die Atmosphäre diffundirende, kohlensäurehaltige Grundluft.

Die Kombinationsfähigkeit dieser zahlreichen Bedingungen für den jeweiligen Kohlensäuregehalt, verbunden mit dem wechselnden Einfluß von meteorologischen Faktoren, bedingt, daß der großen Zahl der ausgeführten Versuche die Ausbeute an Gesetzmäßigkeiten keineswegs entspricht.

Am deutlichsten prägt sich noch die durch die Zusammenstellung der Monatsmittel repräsentirte Abnahme der Kohlensäure in der warmen Jahreszeit und die Zunahme mit Eintritt des Winters aus, wie folgende Zahlen zeigen:

Durchschnittlicher Kohlensäuregehalt.

1891	1 cm üb. d. Bod.		2 m üb. d. Bod.		10 m üb. d. Bod.	
	Tag.	Nacht.	Tag.	Nacht.	Tag.	Nacht.
Januar	5,194	5,199	4,877	5,050	5,353	5,063
Februar	4,181	4,372	4,196	4,258	4,364	4,402
März	3,892	6,346	3,724	4,162	3,685	3,780

	1 cm üb. d. Bod. Tag.	1 cm üb. d. Bod. Nacht.	2 m üb. d. Bod. Tag.	2 m üb. d. Bod. Nacht.	10 m üb. d. Bod. Tag.	10 m üb. d. Bod. Nacht.
April	4,563	4,091	4,098	3,780	4,028	3,962
Mai	3,485	5,009	2,958	3,182	3,307	3,745
Juni	3,375	3,242	3,602	3,739	3,487	3,585
Juli	3,970	3,008	3,329	3,146	2,900	2,909
August	3,079	3,123	2,998	3,110	2,998	3,518
September	3,969	3,853	3,483	3,548	3,396	3,981
Oktober	3,996	4,419	3,368	3,663	3,542	3,870
November	4,058	4,683	3,919	3,794	4,568	4,493
Dezember	4,043	5,774	3,928	3,724	4,860	4,569.

Mit größter Klarheit wird die bezeichnete Gesetzmäßigkeit durch jene Resultate dargethan, welche sich auf die 10 Meter über dem Boden befindliche Luftschichte beziehen. Es wäre überflüssig, eine gesonderte Erklärung für das Zustandekommen dieser Thatsache abzugeben, nachdem dieselbe durch die im vorangegangenen Abschnitt gepflogenen Erörterungen als hinlänglich begründet betrachtet werden kann. Es möge nur noch erwähnt sein, daß die hohe Zahl des Monats Januar wahrscheinlich nicht so sehr einzig auf Rechnung der gesteigerten Rauchproduktion der Vorstadt als vielmehr jener des Stadtinnern zu setzen ist, insofern auf bekannte Weise ein Transport der dort erzeugten Verbrennungsgase nach den Stadträndern vorging. Die in den folgenden Monaten beginnende Abnahme weist einige Ausnahmen, so z. B. im Monat April, auf, welche durch eine ungewöhnliche Temperaturerniedrigung und die damit je nach Jahreszeit verknüpften Konsequenzen erklärt werden können.

Größere Abweichungen von der betreffenden Beziehung, namentlich bei Nacht, weist hingegen manchmal der Kohlensäuregehalt der direkt am Boden ruhenden Luftschichte auf, während die 2 Meter darüber befindliche Region in Bezug darauf eine Mittelstellung einnimmt.

Als Grund für das Zustandekommen dieser Verhältnisse ist ohne Zweifel der Umstand anzusehen, daß der Boden über eigene Kohlensäurequellen verfügt; außerdem sind aber hierbei auch noch einige von der Witterung abhängige Vorgänge betheiligt. Da die letzteren bei der Feststellung des gesonderten Einflusses der meteorologischen Faktoren eine Behandlung erfahren werden, so kann zunächst der Wirkung der

im Boden aus der Zersetzung der organischen Stoffe sich bildenden und der Grundluft beimischenden Kohlensäure volle Beachtung geschenkt werden.

Von der Ansicht ausgehend, daß eine Diffusion der Grundluft, resp. der Kohlensäure in die Atmosphäre nur in frostfreiem Boden vor sich gehen kann, dessen Poren auf keinen Fall mehr durch ein zusammenhängendes Gerüstwerk von Eispartikelchen durchsetzt sein dürfen, können sich zu derartigen Betrachtungen nur die Versuchsresultate jener Monate eignen, welche in keiner Weise mehr einen winterlichen Charakter an sich tragen. Unter Beachtung dieser Einschränkung treten uns zunächst am 6. und 7. April 1891, ferner in der Nacht vom 11. Mai desselben Jahres einige sehr hohe Zahlen entgegen, merkwürdigerweise wiederholen sich aber dieselben im ganzen weiteren Verlaufe der warmen Jahreszeit nicht mehr in solch auffälliger Weise, weshalb geschlossen werden muß, daß die Grundluft keineswegs jederzeit beliebig über die Bodenoberfläche empordiffundiren und sich mit der Atmosphäre vermischen kann, sondern daß dies in wirksamer Weise nur unter ganz bestimmten Verhältnissen möglich ist. Die letzteren näher zu bezeichnen, ist nach den bis jetzt über diesen Gegenstand vorliegenden Untersuchungen nicht möglich und mag es daher gestattet erscheinen, zu diesem Zwecke wieder theilweise auf hypothetisches Gebiet überzutreten.

So kann der hohe Kohlensäuregehalt am 6. und 7. April 1891 vermuthlich auf die während dieser Tage anhaltend regnerische Witterung und die um jene Zeit im Boden vorhandenen Zustände zurückgeführt werden. Der letztere, welcher nämlich in dem eben beendeten strengen Winter bis zu einer Tiefe von 1,2 Meter mit Frost durchzogen war, konnte in den bezeichneten Tagen offenbar noch nicht bis in diese Entfernung nach abwärts aufgethaut sein, so daß der Abfluß des in die obersten Schichten eindringenden meteorischen Wassers gehemmt und dadurch eine Verdrängung der vorher dort befindlich gewesenen Grundluft in die Atmosphäre bedingt war.

Ganz anders muß hingegen das Empordiffundiren der Grundluft in der Nacht vom 11. Mai 1891 erklärt werden. In diesem Falle folgte auf einen verhältnißmäßig schwülen Tag eine kühle Nacht, wodurch der vom vorangegangenen Tage her bis zu einer bestimmten Tiefe noch erwärmten Grundluft ein bedeutender Auftrieb nach der kalten Atmo-

sphäre verliehen wurde und dadurch ein Ueberfluthen der Grundluft zu Stande kam.

Es ist jedoch auffallend, daß der letztere Vorgang sich mit derselben Deutlichkeit im ganzen weiteren Verlauf der warmen Jahreszeit nie mehr auszuprägen vermochte, obwohl noch sehr oft auf einen schwülen Tag eine kühle Nacht folgte. In der Hoffnung, der Ursache dieser Erscheinung näher zu kommen, führte Verf. einige Zeit hindurch gleichzeitig Kohlensäurebestimmungen sowohl in der auf dem Boden ruhenden Luftschichte, als auch in einer Tiefe von 30 cm in der Grundluft aus. Auf der Thatsache der Kohlensäurezunahme nach der Tiefe fußend[1]) und von der Ueberlegung ausgehend, daß bei einem Uebertritt der Grundluft deshalb auch der Kohlensäuregehalt in den obersten Bodenschichten gesteigert werden müsse, glaubte sich Verf. berechtigt, ein nächtliches Ueberfluthen der Grundluft dann anzunehmen, wenn an beiden Versuchspunkten bei Nacht eine Kohlensäurezunahme gegen den vorangegangenen Tag erfolgte. Die Resultate der in dieser Absicht ausgeführten Versuche sind folgende:

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft				Witterungscharakter.			
	im Boden (30 cm Tiefe).		1 cm über dem Boden.		Tag.			Nacht.
	Tag.	Nacht.	Tag.	Nacht.	Temperatur.	Windstärke.	Niederschläge.	
8. Juni 1891	7,172	6,327	4,662	3,437	18,8	1,7	—	—
9. » »	5,643	7,438	3,641	3,188	17,3	2,0	R.	—
10. » »	6,502	7,748	3,793	3,579	14,6	3,0	R.	R.
11. » »	6,688	6,669	3,344	3,218	12,3	0,7	R.	—
12. » »	5,287	5,220	2,995	2,784	11,0	3,0	—	—
13. » »	5,246	5,767	2,973	3,145	9,9	2,0	—	—
14. » »	5,452	5,083	3,341	3,330	10,7	3,3	R.	R.
15. » »	5,483	7,425	3,361	3,712	15,1	2,7	—	R.
16. » »	6,199	6,971	3,366	3,318	14,3	3,0	R.	R.
17. » »	6,995	7,472	3,497	3,301	11,7	0,3	R.	—
18. » »	6,809	7,482	3,143	3,306	12,7	1,3	—	R.
19. » »	6,839	6,845	3,507	3,510	11,4	0,7	—	R.
28. » »	10,043	12,732	4,304	3,586	18,4	1,3	—	—
29. » »	9,037	18,861	2,892	3,053	22,4	0,0	—	—
30. » »	16,061	18,760	1,805	2,165	24,5	1,0	—	—
2. Nov. »	4,104	3,986	3,595	6,239	1,2	2,7	—	—
3. » »	4,139	3,601	4,139	5,488	0,4	1,3	—	N.
4. » »	4,012	3,762	3,663	4,104	-0,2	1,0	—	S.
5. » »	3,909	4,104	3,817	4,445	0,5	1,7	S.	S.
6. » »	3,475	3,124	3.302	3,400	-3,7	1,3	—	—

[1]) *v. Pettenkofer*, Zeitschrift f. Biologie. Bd. VII. S. 395. Bd. IX. S. 250. *E. Wollny*, Forschg. a. d. Geb. d. Agrikulturphys. Bd. IX. 1886. S. 180.

Ohne den Verhältnissen Zwang anzuthun, läßt sich jedoch aus diesen Ergebnissen keineswegs eine Schlußfolgerung über die Ursachen des Ueberfluthens der Grundluft ziehen. Wenn auch in einigen Fällen gleichzeitig an beiden Versuchspunkten bei Nacht eine Kohlensäurezunahme gegen den vorangegangenen Tag erfolgte (13., 15., 18., 19., 29., 30. Juni) und daraus auf ein nächtliches Empordiffundiren der Grundluft geschlossen werden könnte, so ergeben sich doch wieder andererseits Daten, wonach bei einer nächtlichen Zunahme des Kohlensäuregehaltes der Grundluft die Luft am Boden unbeeinflußt hiervon eine diesbezügliche nächtliche Abnahme aufweist (9., 10., 16., 17., 28. Juni). Daraus kann geschlossen werden, daß der Einfluß der Grundluft auf den Kohlensäuregehalt der Luft am Boden keineswegs jederzeit ein dominirender ist, sondern daß die in jener atmosphärischen Schichte enthaltenen Mengen dieses Gases ebenfalls größtentheils als ein von der Einwirkung der verschiedensten Witterungsfaktoren abhängiges Produkt zu betrachten sind.

Nur die wenigen Versuchsresultate aus dem Monat November lassen die Ableitung einiger Schlußfolgerungen zu. So macht sich in der am Boden befindlichen Luft in jener durch leichte Nachtfröste ausgezeichneten Periode stets eine nächtliche Kohlensäurezunahme geltend, möglicherweise durch die Ausdehnung des kapillaren Wassers im Boden beim Gefrieren hervorgerufen, wodurch Grundluft nach oben verdrängt werden muß. Bemerkenswerth ist, daß diese nächtliche Kohlensäurezunahme immer schwächer wurde, je öfter sie aufgetreten war, wie aus folgenden Zahlen hervorgeht:

	Nächtliche Zunahme der Kohlensäure in Proz. d. Tagesbeobachtg.		in Proz. d. Tagesbeobachtg.
2. Nov.	73,55	5. Nov.	19,71
3. »	32,59	6. »	2,97.
4. »	12,04		

Nur in der auf nassen Schneefall folgenden Nacht vom 5. November erfolgte eine störende Zunahme, welche aber durch die Feuchtigkeitszufuhr in den Boden vor dessen Gefrieren leicht erklärlich erscheint. Die viel öfter zutreffende Verringerung der Zunahme hingegen rührt nämlich daher, daß die Hohlräume des Bodens immer mehr durch Eis ausgefüllt wurden und bei erneutem Frost immer weniger Feuchtigkeit zum Gefrieren vorhanden war.

Nach diesen Abschweifungen wieder zum Ausgangspunkt, nämlich der durch Satz 1 dieser Versuchsreihe ausgesprochenen Gesetzmäßigkeit, zurückkehrend, daß zwar im Allgemeinen die Vorstadtluft sämmtlicher Höhenlagen während des Winters kohlensäurereicher als im Sommer ist, muß noch bemerkt werden, daß sich an die hierin ermöglichten, soeben geschilderten Unregelmäßigkeiten in der Luft am Boden auch die 2 Meter darüber befindliche Region vermöge ihrer Lage anlehnt, wie aus der Zusammenstellung der Monatsmittel ersichtlich.

Die durch Satz 2, 3 und 4 ausgesprochenen Thatsachen lassen sich keiner eingehenderen Besprechung unterziehen, sie sind eben als Folgeerscheinung der großen Mannigfaltigkeit im Kohlensäurebezuge der Vorstadtluft aufzufassen. Es mag nur noch erwähnt sein, daß sich merkwürdigerweise auch in der 2 Meter über dem Boden befindlichen Luftschichte ab und zu der größte Kohlensäuregehalt vorfand, was nur durch die Annahme von mit diesem Gase ausgestatteten, horizontalen Luftströmungen in dieser Höhe oder von strichweise in die umgebende Luft eingelagerten schwachen Rauchschichten erklärt werden kann.

Von wesentlichem Interesse ist hingegen noch ein Vergleich der monatlichen Durchschnittszahlen, welche während der korrespondirenden Monate des Jahres 1890, resp. 1891 für den Kohlensäuregehalt der 2 Meter über dem Boden befindlichen Luft erhalten wurden. Derselbe ergiebt nämlich durchwegs für das erstere Jahr eine höhere Zahl als für das zweite, wie folgende Zusammenstellung darthut:

	1890. Kohlensäuregehalt.			1891. Kohlensäuregehalt.	
	Tag.	Nacht.		Tag.	Nacht.
Juni	4,336	—	Juni	3,602	3,739
Juli	4,237	4,463	Juli	3,329	3,146
August	4,059	3,900	August	2,998	3,110
September	4,353	4,208	September	3,483	3,548
Oktober	4,527	4,608	Oktober	3,368	3,663
November	4,829	5,278	November	3,919	3,794
Dezember	4,641	4,797	Dezember	3,928	3,724.

Die Konsequenz, womit diese Erscheinung in sämmtlichen Monaten hervortritt, legt nahe, daß es sich hier keineswegs um einen Zufall

handeln kann. Da aber die allgemeinen, lokal gegebenen Verhältnisse (Anzahl der benachbarten Rauchquellen u. s. w.) in beiden Jahren dieselben waren, ebenso Anlage und Durchführung der Versuche, so muß die Erscheinung auf einen Wechsel des Kohlensäuregehaltes der gesammten Atmosphäre zurückgeführt werden. Einer Beeinflussung in solchem Maßstabe können jedoch nur ganz allgemeine Ursachen zu Grunde liegen, deren vermuthliche Identität vielleicht mit dem Witterungsunterschiede der kritischen Monate beider Jahre zusammenhängt. In der That ergeben sich aber in dieser Richtung einige erhebliche Gegensätze.

Ein Vergleich der monatlichen Durchschnittszahlen für Temperatur und Feuchtigkeit aus der warmen Zeit der beiden Jahre zeigt nämlich, daß in dem durch höheren Kohlensäuregehalt ausgezeichneten Jahrgang 1890 sowohl an Wärme als Niederschlägen im Allgemeinen ein Ueberschuß gegenüber dem folgenden Jahr zu verzeichnen war, wie folgende Zusammenstellung beweist:

	1890.		1891.		
	Durchschnittliche			Durchschnittliche	
	Temperatur.	Niederschlagsmenge.		Temperatur.	Niederschlagsmenge.
April	8,7	52,7	April	6,0	58,7
Mai	15,2	51,1	Mai	14,9	61,0
Juni	15,4	155,5	Juni	13,7	52,6
Juli	17,0	140,6	Juli	16,6	173,2
August	18,1	180,7	August	15,5	105,8
September	13,3	113,9	September	13,5	60,5.

Die solchermaßen im Jahre 1890 intensiver vor sich gegangenen organischen Zersetzungen verschiedenster Art an der Erdoberfläche dürften sich nun hiernach in ungezwungener Weise zur Erklärung der erwähnten Thatsache heranziehen lassen.

Es erübrigt nunmehr noch die gesonderte Feststellung des Einflusses der meteorologischen Elemente auf den Kohlensäuregehalt der Vorstadtluft. In dieser Richtung ergeben sich jedoch ebenfalls fast gar keine Beziehungen.

Der Wind war sowohl bezüglich Stärke als Richtung von gar keiner ausgesprochenen Einwirkung, ausgenommen in der Nacht vom 16. Dezember 1891, wo ein außergewöhnliches Ueberfluthen der Grundluft,

wahrscheinlich in Folge der ungemein rasch auf längeren Sturm folgenden Windstille eintrat. Nach Versuchen von *Hensele* bewirkt nämlich anhaltender, starker Wind die Ausbildung eines deutlichen Ueberdruckes in der Grundluft, der sich auszugleichen sucht, sobald die mechanische Gewalt der ihm Widerstand bietenden, horizontalen Luftbewegung aufhört.

Auch ein bestimmter Einfluß des Regens kann nur in ganz vereinzelten Fällen, nämlich indirekt bloß aus den Resultaten vom 6. und 7. April angenommen werden.

Schneefall hat sich kohlensäurevermehrend erwiesen. So war in dem durch viel Schnee ausgezeichneten Monat Januar 1891 die Luft am schneebedeckten Boden meist kohlensäurereicher als die der höher gelegenen Schichten. Die dieser Erscheinung zu Grunde liegende Abwärtsbeförderung von Verbrennungsgasen scheint besonders den nassen Schneeflocken zuzukommen, was aus der ganz erstaunlichen Kohlensäureproduktion in den Nächten des 21. und 23. März 1891 am Boden hervorgeht, wo eine nasse Schneedecke dem Gefrieren unterlag und dabei die wahrscheinlich darin enthaltene Kohlensäure ausgetrieben wurde. Hierbei lagert sich dieselbe in Folge ihres höheren Gewichtes vermuthlich in einer stabilen Schichte auf den Boden, so daß bei Windstille (21. März) die höher gelegenen Luftschichten kaum davon beeinflußt werden, während bei bewegter Luft (23. März) aber eine Zerstreuung des Gases nach oben dennoch zu Stande kommt.

Der Nebel hat am 2. und 3. Januar 1891 die Kohlensäure vermehrt, in vielen anderen Fällen zeigte er sich aber belanglos. Ueber die Möglichkeit dieser verschiedenen Wirkungsarten wurde bereits im ersten Abschnitt verhandelt.

Von sehr unbestimmtem Einfluß erwies sich die Luftfeuchtigkeit, Bewölkung und Temperatur. Für die Wirkungsart der beiden letzteren können Anhaltspunkte darin gesucht werden, daß in dem durch einen Rückschlag in der Abnahme der Kohlensäure charakterisirten Monat Juni 1891 die Witterung kühl und der Himmel meist bedeckt war.

Hiermit dürften die für die zweite Versuchsreihe geltenden Betrachtungen als zu Ende geführt erachtet werden. Der große Wechsel in der Stärke der Kohlensäurequellen gerade in der Vorstadtluft dürfte auf die freiere Lage des Versuchsortes zurückzuführen sein, durch welche die Einwirkung der maßgeblichen Faktoren in ungleich größerem Wechsel erfolgen kann als in Mitten der Stadt.

III. Vergleich zwischen Vorstadtluft und Stadtluft.

Die Gegenüberstellung der Resultate von gleichzeitig in fast derselben Höhenlage sowohl in der Vorstadt als auch im Stadtinnern und über der Stadt außerdem ausgeführten Versuchen ist in den folgenden Tabellen gegeben.

Kalte Jahreszeit.

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft						Witterungscharakter.			
	Tag			Nacht			Tag.			Nacht.
	in der Vorstadt (2 m über dem Boden.)	in der Stadt (5 m über d. Boden).	über der Stadt (55 m über dem Boden).	in der Vorstadt (2 m über dem Boden).	in der Stadt (5 m über d. Boden).	über der Stadt (55 m über dem Boden).	Temperatur.	Windstärke.	Niederschläge.	
1890										
31. Okt.	3,949	4,134	5,709	4,229	3,627	3,659	4,6	0,7	—	r. R. S.
3. Nov.	4,519	4,680	6,718	—	—	—	7,2	2,3	—	—
12. »	5,013	4,833	8,085	5,004	5,297	5,681	3,5	1,3	R. S.	r. R.
1. Dez.	4,327	5,744	10,215	5,999	5,794	6,939	- 5,5	1,3	—	r. Nb.
2. »	5,237	6,005	7,184	5,388	5,383	6,642	- 2,1	0,3	Nb.	r. Nb.
3. »	5,078	6,055	7,386	5,074	4,959	5,935	0,8	1,0	Nb.	r. Nb.
4. »	4,635	5,643	5,229	4,685	5,324	5,116	- 1,1	0,3	Nb.	W. Nb.
9. »	4,519	5,559	7,694	4,569	5,939	5,312	- 6,7	1,0	—	W.
12. »	4,723	6,184	5,689	—	—	—	- 8,0	2,0	—	—
16. »	3,402	4,522	7,717	5,021	4,434	5,083	-10,5	0,7	S.	schw. W.
17. »	4,267	4,726	4,874	—	—	—	- 7,7	1,7	—	—
19. »	5,189	4,596	5,772	—	—	—	- 6,3	0,3	—	r.
20. »	5,602	5,057	5,604	6,009	5,169	6,389	- 1,9	0,0	—	r. Nb.
27. »	4,562	5,666	7,537	3,203	4,805	4,194	- 6,0	1,0	Nb.	W.
28. »	3,152	4,486	4,101	4,368	4,784	4,311	- 9,9	1,0	—	r. kl.
29. »	4,077	4,529	5,009	4,338	4,473	3,779	-12,6	0,0	—	r. Nb.
30. »	4,042	4,839	5,259	5,149	4,932	5,075	- 9,4	0,3	—	r. kl.

Warme Jahreszeit.

1891										
4. Mai	**3,816**	**5,033**	**4,286**	**4,268**	**4,088**	**4,179**	**15,9**	**9,7**	**—**	**r. bed.**
5. »	**3,036**	**4,328**	**3,634**	**4,094**	**5,033**	**3,440**	**15,0**	**10,0**	**—**	**r. bed.**
6.. »	**3,630**	**4,355**	**3,644**	**3,588**	**4,306**	**3,639**	**15,7**	**9,3**	**—**	**W. R.**
7. »	**3,781**	**4,140**	**3,988**	**3,459**	**4,005**	**4,290**	**15,1**	**9,7**	**—**	**r. R.**
8. »	**2,912**	**4,188**	**3,346**	**3,774**	**3,774**	**3,134**	**13,8**	**10,0**	**—**	**r. st. R.**
11. »	**3,215**	**4,155**	**3,291**	**3,557**	**2,836**	**2,912**	**17,6**	**7,7**	**—**	**r. kl.**
12. »	**3,379**	**3,777**	**3,092**	**3,023**	**3,545**	**2,730**	**18,3**	**3,0**	**—**	**r. kl.**
13. »	**3,007**	**3,032**	**2,752**	**3,570**	**3,389**	**3,109**	**18,4**	**2,0**	**—**	**schw.W.kl.**
14. »	**2,890**	**3,612**	**3,038**	**3,065**	**3,065**	**3,142**	**17,8**	**5,7**	**—**	**r. bed.**
20. »	**3,928**	**2,317**	**1,666**	**3,423**	**3,212**	**2,929**	**17,0**	**6,0**	**—**	**r. kl.**
21. »	**6,182**	**3,269**	**2,780**	**3,948**	**3,114**	**3,145**	**20,0**	**5,7**	**—**	**st. W.**
22. »	**1,966**	**3,385**	**2,379**	**2,860**	**3,009**	**3,467**	**11,0**	**9,0**	**R.**	**r. kl.**
25. »	**2,891**	**2,891**	**2,759**	**2,854**	**2,311**	**2,929**	**14,3**	**5,0**	**—**	**st. W. R.**
26. »	**2,508**	**2,685**	**2,196**	**1,603**	**2,672**	**2,000**	**12,7**	**7,7**	**—**	**W. st. R.**
27. »	**1,782**	**2,138**	**1,652**	**2,468**	**2,292**	**2,427**	**11,2**	**10,0**	**—**	**W. bed.**
28. »	**1,633**	**1,270**	**0,738**	**2,132**	**(0,000)**	**1,640**	**14,4**	**3,3**	**—**	**r. kl.**
2. Juni	**4,838**	**2,867**	**2,395**	**3,941**	**2,866**	**3,462**	**20,1**	**6,3**	**—**	**W. R.**
3. »	**4,674**	**4,674**	**3,457**	**4,287**	**4,108**	**4,543**	**14,0**	**10,0**	**R.**	**r. bed.**
4. »	**3,468**	**3,287**	**3,137**	**3,468**	**3,104**	**3,137**	**19,1**	**6,3**	**—**	**r. bed.**
5. »	**3,623**	**3,442**	**3,124**	**4,369**	**3,459**	**3,508**	**17,6**	**8,0**	**R.**	**W. bed.**

Obiger Vergleich thut Folgendes dar:

1) Während der kalten Jahreszeit ist die Luft in der Stadt am Tage in den allermeisten Fällen kohlensäurereicher als die Vorstadtluft, während in jener Periode bei Nacht bald dem einen, bald dem andern Punkt der höhere Kohlensäuregehalt zukommt;
2) während der warmen Jahreszeit ist am Tage ebenfalls die Luft in der Stadt im Allgemeinen kohlensäurereicher als jene der Vorstadt, bei Nacht hingegen tritt die umgekehrte Erscheinung auf;
3) die Vorstadtluft ist während der kalten Jahreszeit unter Tags durchgängig, bei Nacht nicht ausnahmslos kohlensäureärmer als die Luft über der Stadt;
4) in der ausgesprochen warmen Jahreszeit ist in der Mehrzahl der Fälle sowohl bei Tag als bei Nacht der Kohlensäuregehalt über der Stadt geringer als in der Vorstadt.

Die durch Satz 1 im ersten Theil charakterisirte Thatsache muß wohl auf die unter Tags von den Schornsteinmündungen nach abwärts eingeleitete Diffusion zurückgeführt werden, welche im Stadtzentrum sowohl in Folge der bedeutenderen Rauchproduktion als der geschützten Lage zwischen den Häusern sich wirkungsvoller zu erweisen vermag als in der Vorstadt. Ausnahmen hiervon ergeben die Versuche vom 12. November, 19. und 20. Dezember 1890; am ersteren Tage war nasser Schneefall zu verzeichnen, der wahrscheinlich in seinem Kohlensäuretransport nach abwärts in der Vorstadt deshalb einflußreicher sein konnte, weil hier in Folge der niedrigeren Temperatur die Erhaltung seiner krystallinischen Beschaffenheit in der Luft mehr begünstigt war als im Stadtinnern, wo in Folge der von den Häusern ausgehenden Lufterwärmung eine Umwandelung zu Wasser schon über der Bodenfläche erfolgen konnte; am 19. und 20. Dezember hingegen dürfte an der gleichen Erscheinung die fast absolute Windstille und die dadurch ermöglichte Ausbildung des atmosphärischen Kreislaufes über der Stadt Schuld tragen, wodurch Verbrennungsgase nach der Vorstadt befördert wurden. Durch unvermeidlichen Diffusionsverlust mußten aber dieselben, bis sie wieder nach dem Stadtinnern gesaugt waren, bedeutend an ihrem Kohlensäuregehalt eingebüßt haben.

Unter Umständen kann jedoch vermuthlich selbst bei tadelloser Ausbildung dieses Kreislaufes die Luft im Stadtinnern kohlensäurereicher bleiben als in der Vorstadt. Dies thut das Resultat des Versuchs vom 2. Dezember 1890 dar, welcher Tag sich bei sehr ruhiger Luft auch noch durch starken Nebel auszeichnete. Die Wassertröpfchen desselben hielten die Verbrennungsgase während ihrer Wanderung wahrscheinlich fest, besonders an den Stadträndern in Folge der dort herrschenden niedrigeren Temperatur. Dies war aber nicht mehr der Fall auf dem Wege zwischen den erwärmten Häusern des Stadtinnern, so daß dort ein Freiwerden der Rauchgase und dadurch eine Steigerung des Kohlensäuregehaltes ermöglicht war.

Die im zweiten Theile von Satz 1 ausgesprochene Beziehung muß ebenfalls auf Rechnung der vorhin erwähnten Luftbewegung gesetzt werden, insofern sich fast sämmtliche Nächte, in welchen die Vorstadtluft kohlensäurereicher als die im Stadtinnern war, durch Windstille auszeichneten. Ein Unterschied gegenüber den ähnlichen Verhältnissen am Tage ist hierbei jedoch darin zu suchen, daß die nach der Vorstadtluft beförderten Rauchmassen nicht mehr in wirksamer Weise nach dem Stadtinnern gesaugt werden können, weil der aufwärts gerichtete Luftstrom daselbst mit jeder Stunde der Nacht schwächer wird. Darauf ist auch die Thatsache zurückzuführen, daß in den durch Nebel ausgezeichneten Nächten der Kohlensäuregehalt in der Vorstadt gleichwohl höher blieb als im Stadtinnern, was bei einem Transport der rauchbeladenen Nebeltröpfchen bis nach dem Stadtinnern nach vorangegangener Betrachtung nicht zutreffen könnte.

Auch die in Satz 3 ausgedrückte Beziehung, daß der Kohlensäuregehalt der Vorstadtluft, der aus leicht begreiflichen Gründen unter Tags durchwegs niedriger sein muß als jener über der Stadt, bei Nacht höher zu werden vermag als der zuletzt genannte, kommt durch die Ansammlung von Rauchgasen im Vorstadtgebiete während des Winters und die Unfähigkeit des zentralen Luftstroms, dieselben wieder energisch an sich zu ziehen, zu Stande. Dies wird dadurch bestätigt, daß die diesbezüglichen windstillen Nächte vom 28., 29. und 30. Dezember 1890 sich auch durch ganz bedeutend tiefe Temperaturen und mehr oder weniger beträchtliche Klarheit auszeichneten, unter welchem Einfluß eine weitgehende Schwächung der fraglichen Luftströmung ermöglicht war.

In der warmen Jahreszeit ist unter Tags zunächst im Allgemeinen in der Stadtmitte mehr Kohlensäure vorzufinden als in der Vorstadt; die Gründe sind dieselben wie die für die gleiche Erscheinung in der kalten Jahreszeit. Die Ausnahmen, welche sich ergeben, entfallen meist auf Tage mit hoher Temperatur oder geringer Bewölkung (20., 21., 28. Mai, 2., 4. Juni 1891), woraus geschlossen werden kann, daß die Intensität des sommerlichen, aufwärts gerichteten Luftstroms dabei betheiligt ist. In der That kann der Ansicht nichts im Wege stehen, daß auch in der warmen Jahreszeit die über der Stadt entführten Verbrennungsgase nach den Rändern derselben herabsinken, weil dort der aufwärts gerichtete Luftstrom ungleich schwächer ist, und dadurch den Kohlensäuregehalt der Vorstadtluft erhöhen. Dieses Ueberwiegen der Kohlensäure in der Vorstadt, welches unter Tags immerhin nur ausnahmsweise auftritt, scheint bei Nacht zur Regel zu werden, weil in Folge der Sistirung der Rauchproduktion im Stadtinnern keinerlei Lieferung dieses Gases erfolgt, während sich das Herabsenken der unter Tags produzirten Rauchmassen nach der Vorstadt auch noch während der Nacht fortsetzt.

Daß im Allgemeinen während der warmen Jahreszeit sogar auch die Luft über der Stadt kohlensäureärmer ist als jene der Vorstadt, kann in befriedigender Weise ebenfalls durch die oben geschilderten Verhältnisse erklärt werden.

IV. Kohlensäuregehalt der Freilandluft.

In dieser Versuchsreihe wurde die Luft über einer allseitig frei gelegenen Kiesfläche wie in der Vorstadt in Entfernungen 1 cm, 2 m und 10 m untersucht, zu welchem Zwecke an einer 10 m hohen, in der Erde befestigten Stange entsprechende Leitungen nach den daneben aufgestellten Aspiratoren gelegt wurden. Die letzteren waren im Sommer auf einem zum Schutze gegen Regen und Sonne mit weißem Tuche überspannten Tische untergebracht, im Winter in einem auf dem Versuchsfeld befindlichen Häuschen aufgestellt, nach welchem die Luft vermittelst Leitung geführt wurde. Da besagtes Lokal nicht zu heizen war, mußte dem Einfrieren der Apparate vorgebeugt werden, was einerseits durch Sättigen des im Aspirator befindlichen Wassers mit Kochsalz, andrerseits durch Einbetten der gefüllten Barytröhren in Pferdemist, bei

bedeutenden Kältegraden durch Anbringung eines brennenden Petroleumofens unter denselben geschah, der vermöge entsprechender Füllung 10 bis 14 Stunden lang auch in Abwesenheit des Verf. in Wirksamkeit zu bleiben vermochte. Die gewonnenen Resultate enthält die folgende Tabelle:

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft (2 m über dem Boden).			Nächtliche Zu- und Abnahme in Proz. der Tagesbeobachtungen.		Witterungscharakter.					
						Tag.					Nacht.
	Tag.	Nacht.	Mittel	Zunahme.	Abnahme.	Temperatur.	Bewölkung.	Relative Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	
1890											
19. Juni	4,111	—	—	—	—	15,6	10,0	73	2,7	R.	R.
23. »	4,105	—	—	—	—	13,7	10,0	83	2,3	R.	R.
26. »	6,946	—	—	—	—	22,7	1,0	54	0,7	R.	—
28. »	4,377	—	—	—	—	19,2	8,0	80	1,0	R.	R.
30. »	3,997	—	—	—	—	14,7	9,3	69	0,7	—	—
Mittel .	4,707										
2. Juli	4,249	—	—	—	—	16,1	9,0	61	3,0	R.	—
3. »	3,036	—	—	—	—	15,3	9,3	70	1,0	R.	—
9. »	4,104	5,517	4,810	34,43	—	18,9	6,0	66	1,3	—	—
10. »	4,198	—	—	—	—	18,4	9,3	69	2,7	R.	—
15. »	3,890	—	—	—	—	21,4	0,0	57	0,7	—	—
16. »	5,152	—	—	—	—	23,6	3,3	59	1,3	—	—
17. »	3,246	—	—	—	—	24,6	3,7	56	0,3	R.	—
22. »	3,971	—	—	—	—	16,0	9,3	60	2,0	—	—
28. »	4,506	—	—	—	—	20,4	1,0	65	1,0	—	—
29. »	—	5,354	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mittel .	3,928	(5,433)									
4. August	4,553	—	—	—	—	14,6	9,7	88	1,3	R.	—
5. »	—	4,042	—	—	—	—	—	—	—	—	R.
6. »	3,027	—	—	—	—	17,9	9,0	67	0,7	—	—
7. »	3,492	—	—	—	—	17,0	9,0	87	0,7	—	—
8. »	—	5,306	—	—	—	—	—	—	—	—	R.
9. »	4,816	—	—	—	—	18,5	6,3	82	1,0	Nb.	—
11. »	5,627	3,901	4,764	—	30,67	20,1	7,7	76	2,7	R.	R.
13. »	—	4,830	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14. »	4,349	—	—	—	—	17,0	9,7	81	1,7	—	—
15. »	5,314	—	—	—	—	16,9	7,3	73	0,3	—	—
18. «	7,063	5,571	6,317	—	21,12	25,3	1,0	55	0,3	—	R.
25. »	5,087	—	—	—	—	10,9	10,0	90	1,7	R.	—
26. »	3,804	3,676	3,740	--	3,36	13,7	7,3	69	2,7	R.	R.
27. »	4,969	4,031	4,500	—	18,88	18,8	6,3	52	0,7	—	—
28. »	4,007	4,683	4,345	16,87	—	15,0	9,3	75	0,7	—	R.
	4,675	4,505	(4,590)								

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft (2 m über dem Boden). Tag.	Nacht.	Mittel.	Nächtliche Zu- und Abnahme in Proz. der Tagesbeobachtungen. Zunahme.	Abnahme.	Witterungscharakter. Tag. Temperatur.	Bewölkung.	Relative Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	Nacht.
9. Sept.	7,064	5,098	6,081	—	27,83	11,6	9,3	81	0,7	R.	—
10. »	4,881	—	—	—	—	13,3	2,7	79	0,7	—	—
14. »	4,972	—	—	—	—	11,1	2,7	69	1,7	—	—
16. »	4,073	4,613	4,343	13,25	—	12,7	6,3	76	1,3	—	—
17. »	4,492	—	—	—	—	13,0	3,7	81	0,7	—	—
23. »	4,369	4,350	4,359	—	0,44	18,1	7,7	68	1,0	—	—
30. »	5,999	4,180	5,089	—	30,32	17,4	0,3	71	1,0	—	—
Mittel .	**5,121**	**4,560**	**(4,840)**								
19. Okt.	4,617	4,592	4,604	—	5,41	4,9	10,0	88	3,7	R.	R.
20. »	4,233	4,342	4,287	2,57	—	4,7	10,0	91	1,3	R.	—
28. »	5,383	4,626	5,004	—	14,06	1,7	9,7	76	1,3	—	—
29. »	5,142	4,427	4,784	—	13,90	1,1	4,0	73	0,3	—	—
Mittel .	**4,844**	**4,497**	**4,670**								
10. Nov.	6,641	5,433	6,037	—	18,19	1,2	9,3	99	0,3	Nb.	R.
17. »	6,802	4,197	5,499	—	38,29	7,8	10,0	91	2,3	R.	R.
24. »	6,939	4,985	5,962	—	28,16	9,7	8,7	65	7,3	R. S.	S.
25. »	4,785	—	—	—	—	0,3	9,3	92	2,3	S.	—
Mittel .	**6,292**	**4,872**	**(5,582)**								
6. Dez.	3,973	4,903	4,438	23,41	—	- 1,7	10,0	96	1,7	Nb.	—
8. »	3,555	3,106	3,330	—	12,63	- 4,7	6,7	90	1,0	—	—
17. »	3,628	4,306	3,967	—	18,69	- 7,7	10,0	95	1,7	—	—
22. »	4,932	4,793	4,862	—	2,82	-10,6	9,0	93	0,0	Nb.	Nb.
Mittel .	**4,022**	**4,277**	**4,149**								
1891											
5. Jan.	4,447	4,510	4,478	1,41	—	- 3,5	10,0	96	1,0	S.	S.
14. »	4,527	5,018	4,772	10,84	—	- 3,7	10,0	98	2,7	S.	S.
21. »	3,752	4,605	4,178	22,73	—	- 5,3	9,3	90	1,7	—	S.
28. »	4,105	4,405	4,255	7,31	—	2,1	10,0	76	1,0		—
Mittel .	**4,208**	**4,634**	**4,421**								
3. Febr.	3,745	3,752	3,748	0,19	—	3,8	10,0	78	1,0	—	S.
17. »	3,922	4,001	3,961	2,01	—	1,2	4,0	89	0,3	Nb.	Nb.
18. »	3,562	3,417	3,489	—	4,07	- 0,7	7,7	94	0,7	Nb.	Nb.
20. »	—	3,077	—	—	—	- 3,2	2,3	79	1,0	Nb.	—
21. »	3,272	—	—	—	—	- 0,9	1,7	76	1,3	Nb.	—
26. »	2,339	2,917	2,628	24,71	—	1,4	1,7	72	0,7	Nb.	—
27. »	3,309	3,151	3,230	—	4,77	0,3	3,3	75	0,7	—	—
Mittel .	**3,358**	**3,386**	**(3,372)**								
10. März	4,104	4,291	4,197	4,55	—	11,8	4,7	57	0,3	—	—
12. »	3,452	3,437	3,444	—	0,43	2,5	2,3	63	2,0	—	—
18. »	2,972	3,251	3,112	9,39	—	9,9	8,3	51	1,0	—	—
19. »	2,624	—	—	—	—	4,5	7,3	65	4,3	—	—
21. »	2,693	—	—	—	—	0,4	8,3	91	1,3	S.	—
Mittel .	**3,169**	**3,659**	**(3,414)**								

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft. 1 cm über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	2 m über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	10 m über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	Nächtliche Zu- und Abnahme in Proz. der Tagesbeobachtungen. 1 cm über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	2 m über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	10 m über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	Witterungscharakter. Tag. Temperatur.	Bewölkung.	Relat. Feuchtigkeit.	Windstärke.	Windrichtung.	Niederschläge.	Nacht.
1891																						
7. April	2,396	2,563	2,479	2,054	2,221	2,137	2,738	2,905	2,821	6,97	—	8,13	—	6,09	—	6,5	10,0	87	1,3	SE. W. SW.	R.	—
8. „	1,035	2,201	1,618	0,863	2,032	1,448	1,552	2,369	1,960	112,65	—	135,46	—	52,64	—	5,4	8,0	77	2,7	SW. W. SW.	R.	—
10. „	—	—	—	2,840	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,2	9,7	79	1,7	E. NE. NE.	Nb.	—
13. „	—	—	—	2,241	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,9	9,7	66	1,0	W. NE. NE.	R.	—
15. „	1,349	0,502	0,926	—	—	—	—	—	—	—	62,78	—	—	—	—	5,9	9,7	69	2,0	W. W. W.	R.	—
16. „	2,725	2,374	2,549	2,384	2,374	2,379	1,533	2,374	1,953	—	14,80	—	0,42	54,86	—	5,1	9,7	76	4,0	W. NW. SW.	R.	—
17. „	2,175	—	—	2,005	—	—	—	2,005	—	—	—	—	—	—	—	5,2	8,3	71	4,0	SW. SW. SW.	R. S.	—
20. „	—	—	—	2,694	2,305	2,499	—	—	—	—	—	—	14,44	—	—	5,5	1,8	65	2,3	NE. NE. NE.	—	—
21. „	—	—	—	2,110	2,688	2,399	—	—	—	—	—	27,39	—	—	—	7,9	2,0	54	1,7	NE. NE. NE.	—	—
22. „	—	—	—	2,271	2,918	2,594	—	—	—	—	—	28,49	—	—	—	9,4	7,0	54	0,7	o. W. SW.	—	—
24. „	2,917	2,517	2,717	—	—	—	—	—	—	—	13,71	—	—	—	—	5,8	10,0	73	3,3	NE. NE. NE.	R.	R.
27. „	2,462	3,205	2,833	2,462	2,848	2,655	1,583	3,205	2,394	30,18	—	15,68	—	102,47	—	9,1	2,0	67	2,0	E. NE. NE.	—	—
28. „	2,919	3,181	3,050	2,554	3,181	2,867	3,102	3,534	3,318	8,98	—	24,55	—	13,92	—	14,1	5,3	53	1,0	o. SE. W.	—	—
29. „	3,764	—	—	3,764	2,282	3,023	4,481	2,984	3,732	—	—	—	39,38	—	33,48	10,4	8,0	73	1,8	W. W. SW.	R.	—
30. „	3,280	4,139	3,709	2,920	2,519	2,719	2,187	1,438	1,812	26,19	—	—	13,73	—	34,25	15,7	2,0	47	2,7	SW. SW. SW.	—	—
Mittel	2,502	2,585	(2,543)	2,393	2,537	(2,465)	2,997	2,687	(2,542)													
4. Mai	—	—	—	1,080	2,988	2,034	—	—	—	—	—	176,66	—	—	—	15,9	9,7	77	1,0	NE. NE. NE.	—	—
5. „	—	—	—	2,493	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15,0	10,0	71	2,0	NE. NE. NE.	—	—
7. „	5,562	4,318	4,940	—	—	—	—	—	—	—	22,37	—	—	—	—	15,1	9,7	79	1,0	W. NW. NE.	—	R.
8. „	4,824	2,662	3,743	—	—	—	—	—	—	—	44,82	—	—	—	—	13,8	10,0	75	1,7	SW. NW. W.	—	R.
9. „	3,761	2,891	3,326	—	—	—	—	—	—	—	23,13	—	—	—	—	16,2	5,0	74	1,3	NE. SE. NE.	—	—
11. „	—	—	—	0,900	0,411	0,655	—	—	—	—	—	—	54,33	—	—	17,6	7,7	53	2,0	W. NE. NE.	—	—
12. „	—	—	—	3,098	3,837	3,468	—	—	—	—	—	23,85	—	—	—	18,3	3,0	68	2,0	NE. E. NE.	—	—
14. „	—	—	—	2,942	2,515	2,728	—	—	—	—	—	—	14,51	—	—	17,8	5,7	47	2,7	W. NW. SW.	—	—
21. „	—	—	—	2,387	2,666	2,526	—	—	—	—	—	11,68	—	—	—	20,0	5,7	62	1,3	E. SW. SW.	—	—
22. „	—	—	—	2,446	2,302	2,374	—	—	—	—	—	—	5,88	—	—	11,0	9,0	80	1,7	NE. W. SW.	R.	—
Mittel	4,716	3,290	4,003	2,192	2,453	(2,322)																
1. Juni	5,059	3,612	4,336	2,249	2,528	2,389	2,624	2,528	2,576	—	28,60	12,40	—	—	3,66	17,5	4,0	60	0,3	o. o. NE.	—	—
2. „	2,815	2,825	2,820	2,815	2,825	2,820	2,815	2,852	2,833	0,36	—	0,35	—	1,31	—	20,1	6,3	60	2,0	SW. NW. NE.	—	R.
3. „	2,890	3,298	3,091	2,167	2,932	2,549	2,709	2,749	2,729	14,12	—	35,30	—	1,48	—	14,0	10,0	85	2,0	W. SW. o.	R.	—
4. „	6,805	2,878	4,841	2,916	2,878	2,897	3,111	2,512	2,811	—	57,71	—	1,30	—	19,25	19,1	6,3	67	0,0	S. NE. o.	—	—
8. „	—	—	—	5,663	1,487	3,575	—	—	—	—	—	—	73,74	—	—	21,2	6,3	67	1,7	NE. E. SE.	—	—
9. „	—	—	—	2,730	2,838	2,784	—	—	—	—	—	3,96	—	—	—	17,9	5,0	55	2,0	NE. NW. SW.	R.	—
10. „	—	—	—	2,028	3,148	2,588	—	—	—	—	—	55,22	—	—	—	15,0	7,7	67	3,0	W. SW. NW.	R.	R.
11. „	—	—	—	3,111	3,128	3,119	—	—	—	—	—	0,54	—	—	—	12,8	8,7	77	0,3	NE. o. o.	R.	—
12. „	—	—	—	2,621	2,303	2,462	—	—	—	—	—	—	12,14	—	—	10,7	9,0	61	3,0	W. NW. W.	—	—
13. „	—	—	—	3,027	1,979	2,503	—	—	—	—	—	—	34,62	—	—	10,8	5,0	59	2,0	W. NW. W.	—	—

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft. 1 cm über dem Boden: Tag.	Nacht.	Mittel.	2 m über dem Boden: Tag.	Nacht.	Mittel.	10 m über dem Boden: Tag.	Nacht.	Mittel.	Nächtliche Zu- und Abnahme in Proz. der Tagesbeobachtungen. 1 cm über dem Boden: Zunahme.	Abnahme.	2 m über dem Boden: Zunahme.	Abnahme.	10 m über dem Boden: Zunahme.	Abnahme.	Witterungscharakter. Tag: Temperatur.	Bewölkung.	Relat. Feuchtigkeit.	Windstärke.	Windrichtung.	Niederschläge.	Nacht.
1891																						
15. Juni	—	—	—	2,562	3,020	2,791	—	—	—	—	—	17,88	—	—	—	16,2	8,7	59	2,7	W. NW. o.	—	R.
16. "	—	—	—	2,322	5,356	3,839	—	—	—	—	—	130,66	—	—	—	12,1	9,3	80	3,0	W. W. W.	R.	R.
17. "	—	—	—	2,292	2,939	2,615	—	—	—	—	—	28,23	—	—	—	11,7	8,0	73	0,3	o. NW. o.	R.	—
18. "	—	—	—	2,337	2,550	2,443	—	—	—	—	—	9,11	—	—	—	13,6	7,7	72	1,3	NW.NW.NW.	—	R.
26. "	6,322	3,058	4,690	—	—	—	—	—	—	—	51,63	—	—	—	—	19,8	8,7	73	1,3	W. W. W.	—	R.
27. "	2,833	2,616	2,724	—	—	—	—	—	—	—	7,66	—	—	—	—	20,1	8,3	73	2,0	SW. NE. W.	—	—
28 "	2,962	2,637	2,799	—	—	—	—	—	—	—	10,98	—	—	—	—	20,8	2,7	60	1,3	NE. NE. NE.	—	—
29. "	2,906	3,735	3,320	—	—	—	—	—	—	28,52	—	—	—	—	—	25,6	1,3	47	0,0	o. o. o.	—	—
30. "	2,948	3,137	3,042	—	—	—	—	—	—	6,41	—	—	—	—	—	25,0	3,0	52	1,0	SW. NE. NE.	—	—
Mittel	3,949	2,740	3,344	2,774	2,851	2,812	2,815	2,660	2,737													
6. Juli	—	—	—	—	—	—	2,873	—	—	—	—	—	—	—	—	16,3	5,3	72	1,7	W. W. W.	R.	R.
7. "	—	—	—	—	—	—	2,719	—	—	—	—	—	—	—	—	18,4	8,0	71	2,0	W. W. o.	R.	R.
9. "	2,355	2,448	2,401	2,175	2,623	2,399	2,719	4,898	3,808	3,95	—	20,59	—	80,14	—	15,2	8,3	68	2,7	SW. W. SW.	R. H.	R.
10. "	1,988	1,914	1,951	1,988	2,263	2,125	3,072	3,307	3,189	—	3,72	13,83	—	7,65	—	15,0	9,0	70	1,3	NW. W. o.	—	R.
11. "	2,649	2,252	2,450	1,942	2,771	2,356	2,649	3,464	3,057	—	14,99	42,69	—	30,77	—	15,0	9,7	71	2,0	W. NW. W.	—	—
20. "	2,142	1,750	1,946	1,964	1,750	1,857	1,964	2,100	2,032	—	18,30	—	10,89	6,92	—	18,4	6,0	65	0,3	o. NE. o.	—	—
21. "	2,507	2,264	2,385	2,507	2,438	2,472	2,507	2,786	2,646	—	9,69	—	2,75	11,13	—	18,7	4,3	62	2,0	W. W. o.	R.	—
23. "	2,461	2,421	2,441	2,282	4,080	3,181	3,335	2,421	2,878	—	1,63	78,78	—	—	27,41	15,3	9,0	85	1,3	SW. NW. o.	—	—
Mittel	2,350	2,175	2,262	2,143	2,654	2,398	2,729	3,163	(2,946)													
28. Aug	2,179	2,282	2,230	1,634	2,282	1,958	1,997	2,282	2,139	4,72	—	39,65	—	14,27	—	19,4	5,3	62	1,3	W. NW. o.	—	R.
29. "	3,281	3,332	3,306	2,187	2,981	2,584	2,369	2,637	2,503	1,55	—	36,30	—	11,31	—	16,9	7,3	73	0,7	SW. SW. o.	—	—
Mittel	2,730	2,807	2,768	1,910	2,631	2,270	2,183	2,459	2,321													
3. Sept.	3,749	3,159	3,454	—	—	—	—	—	—	—	15,74	—	—	—	—	22,5	0,7	68	0,7	E. NE. o.	—	—
4. "	2,654	2,808	2,731	—	—	—	—	—	—	5,80	—	—	—	—	—	21,7	4,7	68	1,0	SW. NE. o.	—	R.
5. "	3,155	2,741	2,948	—	—	—	—	—	—	—	13,12	—	—	—	—	16,9	10,0	88	0,3	W. o. o.	R.	R.
11. "	4,877	3,321	4,099	—	—	—	—	—	—	—	31,90	—	—	—	—	15,7	0,3	76	0,0	o. o. o.	—	—
14. "	2,583	2,301	2,442	2,029	2,301	2,165	0,738	2,301	1,519	—	10,92	13,41	—	211,79	—	23,3	1,0	59	1,0	o. NE. SW.	—	R.
15. "	2,324	2,283	2,303	1,967	2,283	2,125	2,324	2,283	2,303	—	1,76	16,06	—	—	1,76	17,4	9,7	75	1,0	SW. W. o.	—	—
17. "	2,674	2,895	2,784	2,318	2,214	2,266	2,853	2,214	2,533	8,26	—	—	4,49	—	22,39	13,0	3,0	76	1,3	SW. SW. o.	—	—
18. "	2,475	2,217	2,346	2,122	1,876	1,999	2,475	2,217	2,346	—	10,42	—	11,59	—	10,43	12,7	7,0	80	0,7	o. NW. o.	Nb.	—
Mittel	3,061	2,716	2,888	2,109	2,168	2,138	2,097	2,254	2,175													

Unter Ausschluß extrem hoher und niederer, nur vereinzelt vorkommender Resultate ergeben sich folgende

Schwankungen des Kohlensäuregehaltes.

		Grenzen.	Differenz. Absolut.	Differenz. In Proz. d. Minimgeh.
1 cm üb. d. Bod.	Tag	1,988—6,805	4,817	242,30
	Nacht	1,750—4,318	2,568	146,74
	Mittel	1,869—5,561	3,692	194,52
2 m üb. d. Bod.	Tag	1,942—7,063	5,121	263,69
	Nacht	1,750—5,571	3,821	218,34
	Mittel	1,846—6,317	4,471	241,01
10 m üb. d. Bod.	Tag	1,583—4,481	2,898	185,59
	Nacht	2,005—4,898	2,893	144,28
	Mittel	1,794—4,689	2,896	164,93.

Aus sämmtlichen vorangegangenen Zahlen folgt:

1) Der Kohlensäuregehalt der Luft auf freiem Lande ist in allen Höhenlagen fortwährenden und beträchtlichen Schwankungen unterworfen;

2) derselbe weist bei Nacht bald eine Zunahme, bald eine Abnahme gegen den vorangegangenen Tag auf, in der 1 cm über dem Boden befindlichen Luftschichte scheint jedoch während der warmen Jahreszeit die Abnahme, in der 10 m darüber gelegenen Region die Zunahme vorzuwalten;

3) der höchste gleichzeitige Kohlensäuregehalt entfällt bald auf die oberste, bald auf die unterste, niemals aber auf die 2 m über dem Boden gelegene Luftschichte.

Die Beantwortung der Frage nach den Kohlensäurequellen der Freilandluft legt zunächst in vorstehendem Falle in Folge der Nähe der Stadt die Vermuthung nahe, daß Verbrennungsgase aus derselben irgendwie nach dem freien Lande zu gelangen vermögen. Zu diesem Transport dürften sich vor Allem die in der Richtung von der Stadt her kommenden Winde eignen. Bei der Lage des Versuchspunktes in der nordwestlichen Umgebung der Stadt würde also zur Konstatirung eines solchen Einflusses

auf südliche und östliche Windrichtungen Rücksicht zu nehmen sein; in der That ergiebt sich auch an Tagen mit derartigen Luftströmungen eine Steigerung des Kohlensäuregehaltes in der 10 m über dem Boden befindlichen Region, welche vor Allem dazu geeignet ist, hiervon in Mitleidenschaft gezogen zu werden. So bewirkte der überwiegende Westwind am 8. April eine Kohlensäureabnahme gegen den vorangegangenen Tag, an dem theilweise südöstliche Windrichtung vorhanden war; der am 28. April gleich nach Beginn des Versuches sich erhebende Südostwind bewirkte eine Kohlensäuresteigerung gegen den vorausgegangenen, durch nordöstliche Strömungen gekennzeichneten 27. April. Aehnlich können die Versuche vom 1. und 2. Juni gedeutet werden, insofern am ersteren während der Versuchsdauer Windstille, am letzteren Tage südlicher Wind herrschte, der eine geringe Kohlensäuresteigerung verursachte.

Aber auch bei ruhiger Luft vermag wahrscheinlich unter Umständen Rauch aus der Stadt nach dem freien Lande zu gelangen und zwar vermöge der atmosphärischen Kreisläufe, welche im ausgeprägten Sommer und Winter zur Entwickelung kommen können. Da sich zunächst nämlich im Sommer die Intensitätsschwächung des aufwärts gerichteten Luftstroms auch über die Stadtränder hinaus erstreckt, wird sich die schiefe Abwärtssenkung der Rauchmassen zum Theil auch bis dorthin fortzupflanzen im Stande sein, wenn auch in bestimmtem Grade schon an der Stadtperipherie eine horizontale Rückwärtsbeförderung nach dem Stadtinnern erfolgt. Die auf diese Weise eingeleitete Ueberfluthung des freien Landes mit Verbrennungsgasen wird sich im Sommer auf ganz beträchtliche Entfernungen, aber stets in bestimmtem Abstand vom Boden erstrecken können, weil in Folge des Vorhandenseins mäßiger, nach aufwärts gerichteter Luftströme auch noch weit außerhalb der Stadt der Gefällswinkel ein viel geringerer ist als im Winter, wo die Intensität der nach oben gerichteten Luftbewegung gleich außerhalb der Stadt Null ist und sich deshalb wahrscheinlich die abfließenden Rauchmassen vermöge ihrer spezifischen Eigenschaften schon dort dem Erdboden auflagern.

Beim Fehlen von aufwärts gerichteten Luftströmen aus der Stadt muß nach dem Bisherigen auch der Transport von Rauch nach dem freien Lande bei windstillem Wetter unterbleiben. Diese Verhältnisse, welche im Allgemeinen für Spätherbst und erstes Frühjahr gelten dürften, können sich aber auch innerhalb der warmen Jahreszeit vorübergehend

ergeben, nämlich dann, wenn in Folge starker nächtlicher Ausstrahlung sich die vertikale Temperaturumkehr in der Luft auszubilden vermag. Darauf ist wahrscheinlich die sehr niedere Zahl für die 10 Meter über dem Boden befindliche Luft am 14. September zurückzuführen, in dessen Vormittagsstunden, worauf die Versuchsdauer hauptsächlich entfiel, bei ruhiger Luft der Rauch aus der Stadt jene verringerte Geschwindigkeit zeigte, welche nach Früherem in Folge der Zunahme der Luftwärme nach oben auftreten muß.

Nachdem als feststehend betrachtet werden kann, daß die oberen Luftschichten im Freien ihren Kohlensäuregehalt in erster Linie der Diffusion aus Rauchantheilen, welche in der Höhe von der Stadt hergelangen, verdanken, ist auch die Thatsache, daß die daselbst 2 Meter über dem Boden befindliche Region stets kohlensäureärmer als die 10 Meter darüber gelegene befunden wurde, wahrscheinlich auf denselben Umstand zurückzuführen; ebenso ist auch das Ueberwiegen einer nächtlichen Kohlensäurezunahme in der letzteren Luftschichte geklärt, denn die darüber schwebenden Verbrennungsgase senken sich in Folge der nächtlichen Temperaturabnahme nach abwärts.

Der allenfallsige Bezug von Kohlensäure aus der Grundluft in die drei untersuchten atmosphärischen Regionen wird in erster Linie für die am Boden befindliche in Betracht kommen. Ein Beweis, daß in Wirklichkeit Bodengase sich daselbst mit der Atmosphäre vermengen, dürfte in der Thatsache zu erblicken sein, daß die Luft 1 cm über dem Boden durchwegs kohlensäurereicher als jene 2 m darüber ermittelt wurde, ferner in dem Umstande, daß während der warmen Jahreszeit der Kohlensäuregehalt der Luft am Boden im Allgemeinen bei Nacht abnahm, eine Erscheinung, welche eine naheliegende Erklärung dadurch findet, daß unter Tags in Folge der vom Boden ausgehenden atmosphärischen Aufwärtsbewegung Grundluft mechanisch emporgesaugt wird, während dies bei Nacht in Folge der im Freien ungehinderten Bodenausstrahlung und der damit verknüpften, weitgehenden Schwächung des Luftstroms nicht stattfindet.

Um jedoch vielleicht gesondert den Uebertritt der Bodengase in die Atmosphäre verfolgen zu können, versuchte Verf. die Feststellung dieser Thatsache wieder durch gleichzeitig direkt über und in einer Tiefe von 30 cm in dem Boden vorgenommene Kohlensäurebestimmungen. Die Resultate der wenigen diesbezüglichen Versuche sind folgende:

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft				Witterungscharakter.			
	im Boden (30 cm Tiefe).		1 cm über dem Boden.		Tag.			Nacht.
	Tag.	Nacht.	Tag.	Nacht.	Temperatur.	Bewölkung.	Niederschläge.	
15. April 1891	8,941	9,039	1,349	0,502	5,9	9,7	R.	—
24. » »	14,072	12,756	2,917	2,517	5,8	10,0	R.	R.
7. Mai »	21,171	24,652	5,562	4,318	15,1	9,7	—	R.
8. » »	20,369	18,455	4,824	2,662	13,8	10,0	—	R.
9. » »	14,848	23,675	3,761	2,891	16,2	5,0	—	—
26. Juni »	21,012	17,986	6,322	3,058	19,8	8,7	—	R.
27. » »	26,826	23,891	2,833	2,616	20,1	8,3	—	—
28. » »	32,029	30,234	2,962	2,637	20,8	2,7	—	—
29. » »	25,772	37,352	2,906	3,735	25,6	1,3	—	—
30. » »	35,771	45,021	2,948	3,137	25,0	3,0	—	—
5. Sept. »	10,166	10,671	3,155	2,741	16,9	10,0	R.	R.
11. » »	10,341	13,446	4,877	3,321	15,7	0,3	—	—

Hieraus ergiebt sich zwar, daß in einigen Fällen (Nächte vom 29. und 30. Juni) eine nächtliche Zunahme der Kohlensäure direkt am Boden, sowie in der Grundluft zutraf, so daß wohl nach Früherem hierbei ein Uebertritt von Bodengasen angenommen werden darf, die Feststellung der maßgebenden Umstände, wonach dies eintreten mußte, erscheint jedoch ausgeschlossen, denn die Tabelle weist auch gegentheilige Fälle, in denen unter ähnlichen Witterungsverhältnissen trotz einer Kohlensäurezunahme in der Grundluft eine gleichzeitige Abnahme dieses Gases in der Luft direkt am Boden erfolgte, auf.

Schließlich muß noch auf die auch in der Freilandluft wie in jener der Vorstadt zu Tage getretene Beziehung hingewiesen werden, daß sich der durchschnittliche Kohlensäuregehalt im Jahre 1891 geringer ergab als in den korrespondirenden Monaten des Vorjahres, welche Thatsache schon einer Besprechung unterzogen worden ist und für die Luft im Freien durch folgende Nebeneinanderstellung dargethan wird:

	1890. Kohlensäuregehalt.			1891. Kohlensäuregehalt.	
	Tag.	Nacht.		Tag.	Nacht.
Juni	4,707	—	Juni	2,774	2,851
Juli	3,928	5,435	Juli	2,143	2,654
August	4,675	4,505	August	1,910	2,631
September	5,121	4,560	September	2,109	2,168.

Die gesonderte Feststellung des Einflusses meteorologischer Elemente auf den Kohlensäuregehalt der Freilandluft ist wie in dem über die Vorstadtluft handelnden Abschnitt nur in beschränktem Maße möglich.

Bezüglich des Windes hat sich im Vorausgegangenen für die 10 Meter über dem Boden befindliche Region die Richtung der Luftströmung maßgeblich erwiesen. Daß jedoch auch die Windstärke von Einfluß ist, geht unter Anderm aus den Resultaten vom 8. April 1891 hervor, an dem bei stürmischem Südwest der Kohlensäuregehalt 2 Meter über dem Boden als äußerst gering ermittelt wurde, weil einerseits die in der Höhe von der Stadt hergetriebenen Rauchtheile an einer wirksamen Diffusion nach unten durch den Wind gehindert, andrerseits die aus dem Boden diffundirende Grundluft sofort horizontal entführt wurde.

Der Regen hat sich für die 2 Meter über dem Boden befindliche Region von vielfach entgegengesetztem Einfluß, für die am Boden aufruhende ebenfalls unbestimmt wirkend und nur in einem Falle (29. April 1891) in der 10 Meter über dem Boden befindlichen Luftschichte ausgeprägt kohlensäurevermehrend erwiesen, möglicherweise dadurch, daß die in noch höher gelegenen, kalten Regionen absorbirte Kohlensäure beim Eintritt in die damals stark erwärmten Luftschichten nächst der Erdoberfläche theilweise abgegeben wurde. Die zuerst angeführten Unregelmäßigkeiten in den anderen untersuchten Regionen hängen wohl damit zusammen, daß in der warmen Jahreszeit bei Regeneintritt einerseits die saugende Wirkung des aufwärts gerichteten Luftstroms auf die Grundluft nachläßt, weil die hierfür maßgebliche Bodenerwärmung in Folge der Wärmeabsorption durch die feuchte Atmosphäre vermindert wird; andererseits wird aus demselben Grunde aber die Zerstreuung der dennoch stets innerhalb bestimmter Grenzen empordiffundirenden Bodengase herabgesetzt, also der Kohlensäuregehalt vermehrt.

Schneefall hat eine deutliche Kohlensäurezunahme am 17. April 1891 hervorgerufen, wahrscheinlich in Folge theilweiser Abwärtsbeförderung von Verbrennungsgasen aus der mit ihren Rändern auch noch das freie Land überragenden Rauchdecke der Stadt.

Auf Rechnung des Einflusses nebliger Witterung ist wahrscheinlich die am 22. Dezember 1890 für die 2 Meter über dem Boden befindliche Luft ermittelte hohe Zahl zu setzen.

Der verschiedenartige Einfluß der relativen Feuchtigkeit der Luft ist durch die oben verzeichneten Folgeerscheinungen des Regens bereits angedeutet.

V. Vergleich zwischen Freilandluft und Vorstadtluft.

Die Resultate der an beiden Versuchspunkten gleichzeitig in 2 Meter Höhe über dem Boden ausgeführten Kohlensäurebestimmungen sind im Folgenden einander gegenübergestellt.

Datum.	Kohlensäurgehalt der Luft.				Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft.			
	Tag.		Nacht.			Tag.		Nacht.	
	Vorstadt.	Freiland.	Vorstadt.	Freiland.		Vorstadt.	Freiland.	Vorstadt.	Freiland.
1890									
26. Juni .	4,383	6,946	—	—	29. Okt. .	5,372	5,142	4,913	4,427
28. » .	4,341	4,377	—	—	10. Nov. .	6,123	6,641	5,469	5,433
30. » .	4,284	3,997	—	—	17. » .	4,476	6,802	4,302	4,197
2. Juli .	3,862	4,249	—	—	24. » .	4,074	6,939	5,198	4,985
3. » .	5,732	3,036	—	—	25. » .	4,769	4,785	—	—
9. » .	5,403	4,104	4,268	5,517	6. Dez. .	6,053	3,973	4,506	4,903
10. » .	3,062	4,198	—	—	8. » .	4,201	3,555	4,589	3,106
15. » .	5,009	3,890	—	—	17. » .	4,267	3,628	—	—
16. » .	4,702	5,152	—	—	22. » .	5,747	4,932	5,465	4,793
17. » .	2,989	3,246	—	—					
22. » .	3,224	2,971	—	—	1891				
28. » .	4,148	4,506	—	—	5. Jan. .	4,467	4,447	4,817	4,510
29. » .	—	—	4,658	5,354	14. » .	4,602	4,527	5,390	5,018
4. Aug. .	3,912	4,553	—	—	21. » .	5,389	3,752	4,930	4,605
5. » .	—	—	3,681	4,042	28. » .	4,621	4,105	4,801	4,405
6. » .	3,431	3,027	—	—	3. Febr. .	4,511	3,745	4,978	3,752
7. » .	3,763	3,492	—	—	17. » .	4,535	3,922	4,350	4,001
8. » .	—	—	4,279	5,306	18. » .	4,217	3,562	4,394	3,417
9. » .	3,806	4,816	—	—	21. » .	4,255	3,272	—	—
11. » .	3,798	5,627	3,587	3,901	26. » .	3,966	2,339	4,424	2,917
13. » .	—	—	3,066	4,830	10. März .	3,339	4,104	3,402	4,291
14. » .	3,743	4,349	—	—	19. » .	4,119	2,624	—	—
15. » .	3,947	5,314	—	—	21. » .	3,245	2,693	—	—
18. » .	5,156	7,063	4,704	5,571	7. April .	4,237	2,054	4,288	2,221
25. » .	6,246	5,087	—	—	8. » .	4,318	0,863	3,538	2,032
26. » .	3,935	3,804	4,088	3,676	10. » .	4,080	2,840	—	—
27. » .	3,241	4,969	3,902	4,031	13. » .	4,577	2,241	—	—
28. » .	3,735	4,007	3,893	4,683	17. » .	4,281	2,005	—	—
10. Sept. .	5,937	4,881	—	—	20. » .	4,693	2,694	3,977	2,305
14. » .	3,659	4,972	—	—	21. » .	3,144	2,110	2,964	2,688
16. » .	2,969	4,073	3,483	4,613	30. » .	3,330	2,920	1,931	2,519
17. » .	4,017	4,492	—	—	4. Mai .	3,816	1,080	4,268	2,988
23. » .	3,726	4,369	5,458	4,350	5. » .	3,036	2,493	—	—
30. » .	3,547	5,999	4,058	4,180	11. » .	3,215	0,900	3,557	0,411
19. Okt. .	4,373	4,617	4,592	4,592	12. » .	3,379	3,098	3,023	3,837
20. » .	4,428	4,233	4,544	4,342	14. » .	2,890	2,942	3,065	2,515
28. » .	4,493	5,383	4,765	4,626	22. » .	1,966	2,446	2,860	2,302

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft.				Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft.			
	Tag.		Nacht.			Tag.		Nacht.	
	Vorstadt.	Freiland.	Vorstadt.	Freiland.		Vorstadt.	Freiland.	Vorstadt.	Freiland.
1891									
2. Juni .	4,838	2,815	3,941	2,825	15. Juni .	3,361	2,562	3,889	3,020
3. » .	4,674	2,167	4,287	2,932	16. » .	3,366	2,322	3,659	5,356
4. » .	3,468	2,916	3,468	2,878	17. » .	3,672	2,292	3,823	2,939
8. » .	3,765	5,663	4,523	1,487	18. » .	3,841	2,337	3,490	2,550
9. » .	3,823	2,730	3,542	2,838	9. Juli .	4,465	2,175	3,562	2,623
10. » .	3,793	2,028	3,938	3,148	10. » .	3,206	1,988	3,384	2,263
11. » .	3,520	3,111	3,218	3,128	11. » .	2,315	1,942	2,493	2,771
12. » .	3,172	2,621	2,958	2,303	28. Aug. .	3,527	1,634	3,286	2,282
13. » .	3,147	3,027	3,495	1,979	29. » .	2,806	2,187	2,587	2,981

Die Durchsicht dieser Zahlen liefert folgendes Ergebniß:

1) Das Verhältniß des durchschnittlichen Kohlensäuregehaltes in der Freilandluft zu jenem der Vorstadtluft stellt sich im Ganzen
wie 3,644 : 4,013 und zwar
am Tage wie 3,680 : 4,059,
bei Nacht wie 3,608 : 3,968;

2) am Tage war der Kohlensäuregehalt der Freilandluft unter 86 Fällen
56 mal (65,12 %) kleiner
30 mal (34,88 %) größer
} als jener der Vorstadtluft;

3) bei Nacht war der Kohlensäuregehalt der Freilandluft unter 60 Fällen
41 mal (68,33 %) kleiner
18 mal (30,00 %) größer
1 mal (1,67 %) eben so groß
} als jener der Vorstadtluft;

4) im Ganzen war der Kohlensäuregehalt der Freilandluft unter 146 Fällen
97 mal (66,44 %) kleiner
48 mal (32,88 %) größer
1 mal (0,68 %) eben so groß
} als jener der Vorstadtluft.

Im Allgemeinen enthält also die Freilandluft weniger Kohlensäure als die Vorstadtluft. Für die rein winterliche Periode trifft dies überhaupt ausnahmslos zu, denn unter den vom 8. Dezember 1890 bis 26. Februar 1891 ausgeführten Versuchen hat kein einziger das Gegentheil ergeben. Es ist auch klar, daß im Winter sich

die Verhältnisse derart gestalten müssen, denn während zu jener Zeit im Stadtgebiete massenhaft Rauch produzirt wird, versiegt ein großer Theil der Kohlensäurequellen im Freien in Folge des Frostes vollständig. Allein während der ganzen übrigen Zeit des Jahres, wo eine ungehinderte Diffusion der Grundluft in die Atmosphäre namentlich auf freiem Lande ermöglicht ist, können sich die den Kohlensäuregehalt beeinflussenden Faktoren derart gruppiren, daß bald in der Vorstadt, bald im Freien die Luft dieses Gas in größeren Mengen enthält.

VI. Kohlensäuregehalt der Waldluft.

In der zur Ermittelung desselben benutzten Schonung auf dem landwirthschaftlichen Versuchsfeld der technischen Hochschule wurde die Luft in den Entfernungen 1 cm und 2 m über dem Boden, sowie jene 5 m darüber in den Baumkronen befindliche untersucht. Anordnung und Durchführung des Versuchs war dieselbe wie bei den auf freiem Lande angestellten Kohlensäurebestimmungen; der Boden der Schonung bestand aus humusreichem Kalksand. Die gewonnenen Resultate enthält die folgende Tabelle:

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft (2 m über dem Boden).			Nächtliche Zu- und Abnahme in Proz. der Tagesbeobachtungen.		Witterungscharakter.					
						Tag.					Nacht.
	Tag.	Nacht.	Mittel.	Zunahme.	Abnahme.	Temperatur.	Bewölkung.	Relative Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	
1890											
19. Juni	5,122	—	—	—	—	15,6	10,0	73	2,7	R.	R.
23. »	4,099	—	—	—	—	13,7	10,0	83	2,3	R.	R.
26. »	4,693	—	—	—	—	22,7	1,0	54	0,7	R.	—
28. »	4,314	—	—	—	—	19,2	8,0	80	1,0	R.	R.
30. »	4,491	—	—	—	—	14,7	9,3	69	0,7	—	—
Mittel . .	**4,544**										
2. Juli	3,801	—	—	—	—	16,1	9,0	61	3,0	R.	—
3. »	3,743	—	—	—	—	15,3	9,3	70	1,0	R.	—
9. »	4,259	5,343	4,801	25,45	—	18,9	6,0	66	1,3	—	—
10. »	3,257	—	—	—	—	18,4	9,3	69	2,7	R.	—
15. »	5,152	—	—	—	—	21,4	0,0	57	0,7	—	—
16. »	6,455	—	—	—	—	23,6	3,3	59	1,3	—	—
17. »	4,133	—	—	—	—	24,6	3,7	56	0,3	R.	—
22. »	3,586	—	—	—	—	16,0	9,3	60	2,0	—	—
28. »	4,416	—	—	—	—	20,4	1,0	65	1,0	—	—
29. »	—	9,323	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mittel . .	**4,311**	**7,333**									
4. Aug.	4,569	—	—	—	—	14,6	9,7	88	1,3	R.	—
5. »	—	5,055	—	—	—	—	—	—	—	—	R.
6. »	9,583	—	—	—	—	17,9	9,0	67	0,7	—	—
7. »	5,403	—	—	—	—	17,0	9,0	87	0,7	—	—

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft (2 m über dem Boden). Tag.	Nacht.	Mittel.	Nächtliche Zu- und Abnahme in Proz. der Tagesbeobachtungen. Zunahme.	Abnahme.	Witterungscharakter. Tag. Temperatur.	Bewölkung.	Relative Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	Nacht.
8. Aug. .	—	10,966	—	—	—	—	—	—	—	—	R.
9. » .	16,354	—	—	—	—	18,5	6,3	82	1,0	Nb.	—
11. » .	6,943	5,683	6,313	—	18,15	20,1	7,7	76	2,7	R.	R.
13. » .	—	10,083	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14. » .	7,908	—	—	—	—	17,0	9,7	81	1,7	—	—
15. » .	9,089	—	—	—	—	16,9	7,3	73	0,3	—	—
18. » .	8,976	6,981	7,978	—	22,23	25,3	1,0	55	0,3	—	R.
25. » .	5,073	—	—	—	—	10,9	10,0	90	1,7	R.	—
26. » .	5,173	5,222	5,197	0,95	—	13,7	7,3	69	2,7	R.	R.
27. » .	7,354	5,588	6,471	—	24,01	18,8	6,3	52	0,7	—	—
28. » .	5,377	5,225	5,301	—	2,82	15,0	9,3	75	0,7	—	R.
Mittel . .	**7,650**	**6,850**	**(7,250)**								
9. Sept. .	6,217	4,741	5,479	—	23,74	11,6	9,3	81	0,7	R.	—
10. » .	7,039	—	—	—	—	13,3	2,7	79	0,7	—	—
14. » .	5,912	—	—	—	—	11,1	2,7	69	1,7	—	—
16. » .	5,406	4,235	4,820	—	21,66	12,7	6,3	76	1,3	—	—
17. » .	4,931	—	—	—	—	13,0	3,7	81	0,7	—	—
23. » .	4,969	4,678	4,823	—	5,86	18,1	7,7	68	1,0	—	—
30. » .	6,276	3,980	5,128	—	36,58	17,4	0,3	71	1,0	—	—
Mittel . .	**5,821**	**4,408**	**(5,114)**								
19. Okt. .	4,592	4,421	4,507	—	3,72	4,9	10,0	88	3,7	R.	R.
20. » .	4,910	4,342	4,626	—	11,57	4,7	10,0	91	1,3	R.	—
28. » .	6,224	5,824	6,024	—	6,42	1,7	9,7	76	1,3	—	—
29. » .	5,341	3,942	4,641	—	26,19	1,1	4,0	73	0,3	—	—
Mittel . .	**5,267**	**4,632**	**4,949**								
10. Nov. .	6,638	5,584	6,111	—	15,88	1,2	9,3	99	0,3	Nb.	R.
17. » .	5,955	5,301	5,628	—	10,98	7,8	10,0	91	2,3	R.	R.
24. » .	6,040	5,330	5,685	—	11,75	9,7	8,7	65	7,3	R. S.	S.
25. » .	4,785	—	—	—	—	0,3	9,3	92	2,3	S.	—
Mittel . .	**5,854**	**5,405**	**(5,629)**								
6. Dez. .	3,816	4,576	4,196	19,92	—	- 1,7	10,0	96	1,7	Nb.	—
8. » .	3,555	1,971	2,763	—	44,56	- 4,7	6,7	90	1,0	—	—
17. » .	3,628	3,974	3,801	9,43	—	- 7,7	10,0	95	1,7	—	—
22. » .	4,932	4,314	4,623	—	12,53	-10,6	9,0	93	0,0	Nb.	Nb.
Mittel . .	**3,983**	**3,709**	**3,846**								
1891											
5. Jan. .	5,272	4,671	4,971	—	11,39	- 3,5	10,0	96	1,0	S.	S.
14. » .	4,527	3,562	4,044	—	21,32	- 3,7	10,0	98	2,7	S.	S.
21. » .	3,752	3,782	3,767	0,79	—	- 5,3	9,3	90	1,7	—	S.
28. » .	4,775	4,568	4,671	—	4,33	2,1	10,0	76	1,0	—	—
Mittel . .	**4,581**	**4,145**	**4,363**								
3. Febr. .	5,374	3,263	4,318	—	39,28	3,8	10,0	78	1,0	—	S.
17. » .	4,739	3,680	4,209	—	22,35	1,2	4,0	89	0,3	Nb.	Nb.
19. » .	3,242	—	—	—	—	- 2,7	2,0	78	1,0	Nb.	—
20. » .	2,755	—	—	—	—	- 3,2	2,3	79	1,0	Nb.	—
26. » .	3,672	3,403	3,538	—	7,32	1,4	1,7	72	0,7	Nb.	—
27. » .	3,317	—	—	—	—	0,3	3,3	75	0,7	—	—
Mittel . .	**3,849**	**3,449**	**(3,649)**								
10. März .	3,926	1,888	2,907	—	51,91	11,8	4,7	57	0,3	—	—
12. » .	2,091	—	—	—	—	2,5	2,3	63	2,0	—	—

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft. 1 cm über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	2 m über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	5 m über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	Nächtliche Zu- und Abnahme in Prozenten der Tagesbeobachtungen. 1 cm über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	2 m über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	5 m über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	Witterungscharakter. Tag. Temperatur.	Bewölkung.	Relat. Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	Nacht.
1891																					
18. März	3,324	3,249	3,287	2,976	3,249	3,112	2,974	3,249	3,112	—	2,26	9,18	—	9,25	—	9,9	8,3	51	1,0	—	—
19. »	3,247	3,031	3,139	2,619	—	—	2,622	2,693	2,658	—	6,65	—	—	2,71	—	4,5	7,3	65	4,3	—	—
20. »	3,114	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,4	9,3	74	1,0	S.	—
21. »	3,031	—	—	3,029	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4	8,3	91	1,3	S.	—
Mittel	**3,179**	**3,140**	**(3,159)**	**2,875**	**3,249**	**(3,062)**	**2,798**	**2,971**	**2,884**												
7. April	—	—	—	2,401	2,734	2,568	—	—	—	—	—	13,87	—	—	—	6,5	10,0	87	1,3	R.	—
8. »	—	—	—	1,725	2,539	2,132	—	—	—	—	—	47,19	—	—	—	5,4	8,0	77	2,7	R.	—
10. »	2,844	—	—	2,559	—	—	2,388	—	—	—	—	—	—	—	—	4,2	9,7	79	1,7	Nb.	—
13. »	2,585	2,184	2,384	2,241	2,351	2,296	2,241	2,519	2,380	—	15,51	4,91	—	12,40	—	4,9	9,7	66	1,0	R.	—
15. »	2,698	2,343	2,520	—	—	—	—	—	—	—	13,16	—	—	—	—	5,9	9,7	69	2,0	R.	—
16. »	—	—	—	2,725	2,374	2,549	—	—	—	—	—	—	12,88	—	—	5,1	9,7	76	4,0	R.	—
17. »	—	—	—	2,674	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,2	8,3	71	4,0	R. S.	—
20. »	2,357	1,811	2,084	2,525	2,798	—	2,525	2,305	2,415	—	23,17	10,81	—	—	8,71	5,5	1,3	65	2,3	—	—
21. »	1,583	0,672	1,128	2,110	2,855	2,482	2,110	2,688	2,399	—	57,55	35,31	—	27,39	—	7,9	2,0	54	1,7	—	—
22. »	1,747	1,889	1,818	2,619	3,260	2,939	2,619	3,088	2,853	8,13	—	24,48	—	17,91	—	9,4	7,0	54	0,7	—	—
24. »	2,059	0,672	1,365	—	—	—	—	—	—	—	67,41	—	—	—	—	5,8	10,0	73	3,3	R.	R.
27. »	—	—	—	2,639	3,739	3,189	—	—	—	—	—	41,69	—	—	—	9,1	2,0	67	2,0	—	—
28. »	—	—	—	2,919	3,827	3,378	—	—	—	—	—	31,11	—	—	—	14,1	5,3	53	1,0	—	—
29. »	—	—	—	3,226	2,633	2,929	—	—	—	—	—	—	18,39	—	—	10,4	8,0	73	1,3	R.	—
30. »	—	—	—	2,920	5,758	4,339	—	—	—	—	—	97,18	—	—	—	15,7	2,0	47	2,7	—	—
Mittel	**2,268**	**1,595**	**(1,931)**	**2,560**	**3,169**	**(2,864)**	**2,364**	**2,888**	**(2,626)**												
4. Mai	2,161	4,746	3,453	2,521	2,461	2,491	—	—	—	119,62	—	—	2,88	—	—	15,9	9,7	77	1,0	—	—
5. »	4,275	3,562	3,918	1,781	—	—	—	—	—	—	16,68	—	—	—	—	15,0	10,0	71	2,0	—	—
7. »	3,229	4,138	3,688	—	—	—	—	—	—	28,15	—	—	—	—	—	15,1	9,7	79	1,0	—	R.
8. »	3,216	3,549	3,882	—	—	—	—	—	—	10,35	—	—	—	—	—	18,8	10,0	75	1,7	—	R.
9. »	3,949	1,626	2,788	—	—	—	—	—	—	—	58,88	—	—	—	—	16,2	5,0	74	1,3	—	—

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft. 1 cm über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	2 m über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	5 m über dem Boden. Tag.	Nacht.	Mittel.	Nächtliche Zu- und Abnahme in Prozenten der Tagesbeobachtungen. 1 cm über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	2 m über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	5 m über dem Boden. Zunahme.	Abnahme.	Witterungscharakter. Tag. Temperatur.	Bewölkung.	Relat. Feuchtigkeit.	Windstärke.	Niederschläge.	Nacht.
11. Mai	(0,000)	1,056	0,528	1,801	2,465	2,133	2,161	3,199	2,680	—	—	36,87	—	46,69	—	17,6	7,7	53	2,0	—	—
12. »	2,005	3,837	2,921	2,733	3,314	3,023	1,093	3,314	2,203	91,37	—	21,26	—	203,20	—	18,3	3,0	63	2,0	—	—
14. »	2,758	2,695	2,727	2,022	2,515	2,268	1,839	3,234	2,537	—	2,29	24,38	—	75,85	—	17,8	5,7	47	2,7	—	—
21. »	4,223	3,377	3,800	2,571	3,377	2,974	2,571	3,170	2,870	—	20,03	31,35	—	24,42	—	20,0	5,7	62	1,3	—	—
22. »	2,446	3,009	2,728	2,625	2,656	2,640	2,969	3,009	2,989	23,02	—	1,18	—	1,34	—	11,0	9,0	80	1,7	R.	—
Mittel	**2,826**	**3,159**	**2,992**	**2,579**	**2,798**	**2,688**	**2,126**	**3,185**	**2,655**												
1. Juni	—	—	—	2,811	3,793	3,302	—	—	—	—	—	34,93	—	—	—	17,5	4,0	60	0,3	—	—
2. »	—	—	—	2,815	3,387	3,101	—	—	—	—	—	20,32	—	—	—	20,1	6,3	60	2,0	—	R.
3. »	—	—	—	3,251	4,032	3,641	—	—	—	—	—	24,02	—	—	—	14,0	10,0	85	2,0	R.	—
4. »	—	—	—	4,276	4,305	4,290	—	—	—	—	—	0,69	—	—	—	19,1	6,3	67	0,0	—	—
8. »	6,229	4,813	5,521	9,653	7,665	8,659	4,908	4,110	4,509	—	22,73	—	20,58	—	16,46	21,2	6,3	67	1,7	—	—
9. »	2,332	2,661	2,496	3,768	3,902	3,835	2,153	2,483	2,318	14,11	—	3,56	—	15,32	—	17,9	5,0	55	2,0	R.	—
10. »	1,977	3,279	2,628	3,236	3,969	3,602	2,517	2,416	2,467	65,86	—	22,65	—	—	4,01	15,0	7,7	67	3,0	R.	R.
11. »	3,924	3,772	3,848	3,567	4,115	3,841	2,140	3,429	2,784	—	3,88	15,36	—	60,23	—	12,8	8,7	77	0,3	R.	—
12. »	2,769	2,550	2,659	2,942	3,230	3,086	2,077	2,891	2,484	—	7,91	9,79	—	39,19	—	10,7	9,0	61	3,0	—	—
13. »	2,456	1,572	2,014	2,983	2,621	2,802	2,807	2,621	2,714	—	35,99	—	12,14	—	6,63	10,8	5,0	59	2,0	—	—
14. »	2,599	2,615	2,607	2,599	2,790	2,694	2,426	2,441	2,433	0,62	—	7,35	—	0,62	—	13,5	8,3	55	3,3	R.	R.
15. »	2,187	3,658	2,922	3,273	2,787	3,030	2,364	4,345	3,354	67,26	—	—	14,84	83,79	—	16,2	8,7	59	2,7	—	R.
16. »	2,820	2,725	2,772	2,997	3,065	3,031	2,468	2,384	2,426	—	3,37	2,27	—	—	3,43	12,1	9,3	80	3,0	R.	R.
17. »	2,610	3,285	2,947	2,958	3,458	3,208	2,262	2,766	2,514	25,89	—	16,91	—	22,28	—	11,7	8,0	73	0,3	R.	—
18. »	2,641	2,721	2,681	2,993	3,061	3,027	2,289	2,550	2,419	3,03	—	2,27	—	11,40	—	13,6	7,7	72	1,3	—	R.
26. »	4,189	3,237	3,713	—	—	—	—	—	—	—	22,72	—	—	—	—	19,8	8,7	73	1,3	—	R.
27. »	2,833	2,790	2,811	—	—	—	—	—	—	—	1,52	—	—	—	—	20,1	8,3	73	2,0	—	—
28. »	2,592	2,988	2,790	—	—	—	—	—	—	15,28	—	—	—	—	—	20,8	2,7	60	1,3	—	—
29. »	2,906	4,625	3,765	—	—	—	—	—	—	59,15	—	—	—	—	—	25,6	1,3	47	0,0	—	—
30. »	2,358	3,329	2,843	—	—	—	—	—	—	41,18	—	—	—	—	—	25,0	3,0	52	1,0	—	—
Mittel	**2,964**	**1,835**	**2,399**	**3,675**	**3,745**	**3,710**	**2,362**	**2,897**	**2,629**												

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft. 1 cm über dem Boden. Tag.	1 cm über dem Boden. Nacht.	1 cm über dem Boden. Mittel.	2 m über dem Boden. Tag.	2 m über dem Boden. Nacht.	2 m über dem Boden. Mittel.	5 m über dem Boden. Tag.	5 m über dem Boden. Nacht.	5 m über dem Boden. Mittel.	Nächtliche Zu- und Abnahme in Prozenten der Tagesbeobachtungen. 1 cm über dem Boden. Zunahme.	1 cm über dem Boden. Abnahme.	2 m über dem Boden. Zunahme.	2 m über dem Boden. Abnahme.	5 m über dem Boden. Zunahme.	5 m über dem Boden. Abnahme.	Witterungscharakter. Tag. Temperatur.	Tag. Bewölkung.	Tag. Relat. Feuchtigkeit.	Tag. Windstärke.	Tag. Niederschläge.	Nacht.
1. Juli	2,329	1,969	2,149	4,851	3,759	4,305	2,329	1,789	2,059	—	15,46	—	22,51	—	23,19	28,9	4,0	39	1,0	—	—
3. »	2,611	2,839	2,725	5,222	4,089	4,655	2,424	2,485	2,454	8,73	—	—	21,69	2,52	—	21,3	9,3	69	1,3	—	R.
6. »	—	—	—	4,446	5,336	4,891	—	—	—	—	—	20,02	—	—	—	16,3	5,3	72	1,7	R.	R.
9. »	—	—	—	3,987	5,772	4,879	—	—	—	—	—	44,78	—	—	—	15,2	8,3	68	2,7	R. II.	R.
10. »	—	—	—	2,530	5,743	4,136	—	—	—	—	—	126,99	—	—	—	15,0	9,0	70	1,3	—	R.
11. »	—	—	—	2,649	4,676	3,662	—	—	—	—	—	76,52	—	—	—	15,0	9,7	71	2,0	—	—
27. »	11,372	3,702	7,537	—	—	—	—	—	—	—	67,44	—	—	—	—	20,8	7,0	63	0,7	—	R.
28. »	3,648	3,577	3,612	—	—	—	—	—	—	—	1,94	—	—	—	—	18,5	8,0	68	2,3	—	—
Mittel .	**4,990**	**3,022**	**4,006**	**3,947**	**4,896**	**4,421**	**2,376**	**2,137**	**2,256**												
25. Aug.	10,148	4,459	7,303	5,166	3,601	4,383	4,059	2,743	3,401	—	56,06	—	30,29	—	32,42	16,4	1,3	67	0,0	—	—
26. »	3,285	3,429	3,357	4,562	4,458	4,510	3,285	3,429	3,357	4,39	—	—	2,28	4,38	—	19,6	4,3	59	1,0	—	—
27. »	2,766	3,678	3,222	4,057	4,028	4,042	2,397	2,452	2,424	32,97	—	—	0,71	2,29	—	20,9	0,0	64	0,3	—	—
Mittel .	**5,399**	**3,855**	**4,627**	**4,595**	**4,029**	**4,312**	**3,247**	**2,875**	**3,061**												
21. Sept.	3,020	2,398	2,709	3,908	2,226	3,067	3,020	2,569	2,794	—	20,59	—	43,04	—	14,93	13,4	9,3	80	2,0	R.	R.
22. »	2,961	3,226	3,093	2,961	3,056	3,008	3,484	3,396	3,440	8,95	—	3,21	—	—	2,53	9,8	6,0	82	1,3	R.	—
23. »	—	—	—	—	—	—	2,957	2,623	2,790	—	—	—	—	—	11,29	8,9	9,6	83	0,3	R.	R.
24. »	2,229	2,332	2,280	2,400	2,332	2,366	2,572	2,498	2,535	4,62	—	—	2,83	—	2,88	8,4	4,3	67	2,0	—	—
25. »	1,721	2,512	2,116	1,896	2,848	2,372	2,237	2,345	2,291	45,96	—	50,21	—	4,82	—	7,8	0,3	74	0,3	—	—
Mittel .	**2,483**	**2,617**	**2,550**	**2,791**	**2,613**	**2,702**	**2,826**	**2,686**	**2,756**												

Unter Ausschluß von extrem hohen und niederen Zahlen, welche nur vereinzelt vorkommen, ergeben sich folgende

Schwankungen des Kohlensäuregehaltes.

		Grenzen.	Differenz. Absolut.	Differenz. In Proz. d. Minimalgeh.
1 cm üb. d. Bod.	Tag	1,721—6,229	4,508	261,94
	Nacht	1,811—4,813	3,002	165,76
	Mittel	1,766—5,521	3,755	213,85
2 cm üb. d. Bod.	Tag.	1,725—7,908	6,183	358,43
	Nacht	2,226—6,981	4,755	213,61
	Mittel	1,975—7,444	5,469	286,02
5 m üb. d. Bod.	Tag	1,839—4,908	3,069	166,88
	Nacht	1,789—4,345	2,556	142,87
	Mittel	1,814—4,627	2,812	154,87.

Aus sämmtlichen vorangegangenen Zahlen läßt sich Folgendes entnehmen:

1) Der Kohlensäuregehalt der Waldluft schwankt in allen Höhenlagen fortwährend und beträchtlich;
2) derselbe weist bei Nacht bald eine Zunahme, bald eine Abnahme gegen den vorangegangenen Tag auf;
3) die direkt am Boden ruhende und die 2 Meter darüber befindliche Luftschichte sind in den warmen Monaten des Jahres kohlensäurereicher als in den durch kühle oder frostige Witterung ausgezeichneten;
4) der höchste gleichzeitige Kohlensäuregehalt kommt bald der am Boden, bald der 2 Meter darüber befindlichen Luftschichte, in vereinzelten Fällen auch jener in den Baumkronen zu.

Die großen Unregelmäßigkeiten deuten darauf hin, daß der Kohlensäuregehalt der Luft im Walde mehr noch als an allen übrigen bisherigen Versuchspunkten das Produkt des Zusammenwirkens der verschiedensten Faktoren darstellt. Man hätte vielleicht von vorneherein erwarten können, daß sich wenigstens der Einfluß der am Waldboden vor sich gehenden

organischen Zersetzung in der Streudecke in durchgreifender Weise in den Resultaten bemerkbar zu machen vermocht hätte, insofern der Kohlensäuregehalt mit zunehmender Entfernung vom Boden einer kontinuirlichen Abnahme hätte unterworfen gedacht werden können. Allein auch dies ist im Allgemeinen nicht der Fall. Nur insofern zeigt sich eine Beeinflussung durch die Streudecke als

1) während der wärmeren Jahreszeit in Folge beschleunigter Zersetzung der Kohlensäuregehalt beträchtlich höher ist als in der kalten;

2) die unteren Luftschichten zwischen den Stämmen kohlensäurereicher als jene in den Kronen sind.

Eine Zurückführung der letzteren Thatsache auf die Kohlensäureassimilation in den Kronen ist nämlich deshalb nicht thunlich, weil als erwiesen betrachtet werden kann, daß die in der Zeiteinheit bei diesem Vorgang verbrauchten Kohlensäuremengen so gering sind, daß eine Beeinflussung des Gehaltes der umgebenden Luft an diesem Gase ausgeschlossen ist. Die Mitbetheiligung des Ueberfluthens der Grundluft im Walde an der Hervorbringung des Kohlensäurereichthums der unteren Luftschichten daselbst ist zwar nicht völlig von der Hand zu weisen, doch kann in Folge der verminderten Bestrahlung am Tage und der beschränkteren Ausstrahlung bei Nacht hier jedenfalls der Vorgang nur ein minder energischer und weniger häufiger sein.

Zur Erklärung der Erscheinung, daß trotz der am Boden vor sich gehenden organischen Zersetzung vielfach die demselben direkt aufruhende Luftschichte sich kohlensäureärmer als die 2 Meter darüber befindliche erwiesen hat, bleibt nichts anderes übrig, als auch einen unter Umständen durchgreifenden Einfluß der Absorptionskraft des Bodens für Kohlensäure anzunehmen. Unter welchen Verhältnissen sich jedoch eine derartige Wirkungsweise zu entwickeln vermag, ist aus den bezüglichen Resultaten in keiner Weise zu ersehen.

Schließlich mag noch auf die auch hier wiederum zu Tage getretene und bereits erörterte Thatsache hingewiesen sein, daß sich der Kohlensäuregehalt (2 Meter über dem Boden) im Jahre 1890 höher als in den korrespondirenden Monaten des folgenden Jahres erwies, was aus folgenden Zahlen entnehmbar ist.

	1890. Kohlensäuregehalt. Tag.	Nacht.		1891. Kohlensäuregehalt. Tag.	Nacht.
Juni	4,544	—	Juni	3,675	3,745
Juli	4,311	7,333	Juli	3,947	4,896
August	7,650	6,850	August	4,595	4,029
September	5,821	4,408	September	2,791	2,613.

Der Ueberschuß an Wärme und Feuchtigkeit, welcher auf das Jahr 1890 entfällt, hat sich hier in Folge der Gegenwart der in Zersetzung begriffenen Streudecke besonders geltend gemacht. Auf die gleiche Ursache dürfte die Thatsache zurückzuführen sein, daß im Sommer 1890 fast stets eine nächtliche Abnahme der Kohlensäure (2 m über dem Boden) in Folge der vorübergehenden Schwächung der intensiven organischen Zersetzung auftrat, während in der gleichen Zeit des Jahres 1891 stets ein Wechsel zwischen nächtlicher Zu- und Abnahme des Kohlensäuregehaltes vorhanden war.

Bezüglich des Einflusses der meteorologischen Faktoren auf den Kohlensäuregehalt der Waldluft bieten die gewonnenen Daten gar keine bestimmten Anhaltspunkte; es ergeben sich hierin große Abweichungen und Undeutlichkeiten und kann daher in dieser Beziehung nur ein Hinweis auf die an den vorausgegangenen Versuchspunkten gewonnenen Ermittelungen übrig bleiben.

VII. Vergleich zwischen Waldluft und Freilandluft.

Die Resultate der gleichzeitig 2 Meter über dem Boden an beiden Punkten vorgenommenen Versuche sind im Folgenden nebeneinandergestellt:

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft. Tag. Wald.	Tag. Frei-land.	Nacht. Wald.	Nacht. Frei-land.
1890				
19. Juni .	5,122	4,111	—	—
23. » .	4,099	4,105	—	—
26. » .	4,693	6,946	—	—
28. » .	4,314	4,377	—	—
30. » .	4,491	3,997	—	—
2. Juli .	3,801	4,249	—	—
3. » .	3,743	3,036	—	—
9. » .	4,259	4,104	5,343	5,517
10. » .	3,257	4,198	—	—
15. » .	5,152	3,890	—	—
16. » .	6,455	5,152	—	—
17. » .	4,133	3,246	—	—
22. » .	3,586	2,971	—	—
28. » .	4,416	4,506	—	—
29. » .	—	—	9,323	5,354
4. Aug. .	4,569	4,553	—	—
5. » .	—	—	5,055	4,042
6. » .	9,583	3,027	—	—
7. » .	5,403	3,492	—	—
8. » .	—	—	10,966	5,306
9. » .	16,354	4,816	—	—
11. » .	6,943	5,627	5,683	3,901
13. » .	—	—	10,083	4,830
14. » .	7,908	4,349	—	—
15. » .	9,089	5,314	—	—
18. » .	8,976	7,063	6,981	5,571
25. » .	5,073	5,087	—	—
26. » .	5,173	3,804	5,222	3,676
27. » .	7,354	4,969	5,588	4,031
28. » .	5,377	4,007	5,225	4,683
9. Sept. .	6,217	7,064	4,741	5,098
10. » .	7,039	4,881	—	—
14. » .	5,912	4,972	—	—
16. » .	5,406	4,073	4,235	4,613
17. » .	4,931	4,492	—	—
23. » .	4,969	4,369	4,678	4,350
30. » .	6,276	5,999	3,980	4,180
19. Okt. .	4,592	4,617	4,421	4,592
20. » .	4,910	4,233	4,342	4,342
28. » .	6,224	5,383	5,824	4,626
29. » .	5,341	5,142	3,942	4,427
10. Nov. .	6,638	6,641	5,584	5,433
17. » .	5,955	6,802	5,301	4,197
24. » .	6,040	6,939	5,330	4,985
25. » .	4,785	4,785	—	—
6. Dez. .	3,816	3,973	4,576	4,903
8. » .	3,555	3,555	1,971	3,106
17. » .	3,628	3,628	3,974	4,306
22. » .	4,932	4,932	4,314	4,793

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft. Tag. Wald.	Tag. Frei-land.	Nacht. Wald.	Nacht. Frei-land.
1891				
5. Jan. .	5,272	4,447	4,671	4,510
14. » .	4,527	4,527	3,562	5,018
21. » .	3,752	3,752	3,782	4,605
28. » .	4,775	4,105	4,568	4,405
3. Febr.	5,374	3,745	3,263	3,752
17. » .	4,739	3,922	3,680	4,001
26. » .	3,672	2,339	3,403	2,917
27. » .	3,317	3,309	—	—
10. März	3,926	4,104	1,888	4,291
12. » .	2,091	3,452	—	—
18. » .	2,976	2,972	3,249	3,251
19. » .	2,619	2,624	—	—
21. » .	3,029	2,693	—	—
7. April	2,401	2,054	2,734	2,221
8. » .	1,725	0,863	2,539	2,032
10. » .	2,559	2,840	—	—
13. » .	2,241	2,241	—	—
16. » .	2,725	2,384	2,374	2,374
17. » .	2,674	2,005	—	—
20. » .	2,525	2,694	2,798	2,305
21. » .	2,110	2,110	2,855	2,688
22. » .	2,619	2,271	3,260	2,918
27. » .	2,639	2,462	3,739	2,848
28. » .	2,919	2,554	3,827	3,181
29. » .	3,226	3,764	2,633	2,282
30. » .	2,920	2,920	5,758	2,519
4. Mai .	2,521	1,080	2,461	2,988
5. » .	1,781	2,493	—	—
11. » .	1,801	0,900	2,465	0,411
12. » .	2,733	3,098	3,314	3,837
14. » .	2,022	2,942	2,515	2,515
21. » .	2,571	2,387	3,377	2,666
22. » .	2,625	2,446	2,656	2,302
1. Juni .	2,811	2,249	3,793	2,528
2. » .	2,815	2,815	3,387	2,825
3. » .	3,251	2,167	4,032	2,932
4. » .	4,276	2,916	4,305	2,878
8. » .	9,653	5,663	7,665	1,487
9. » .	3,768	2,730	3,902	2,838
10. » .	3,236	2,028	3,969	3,148
11. » .	3,567	3,111	4,115	3,128
12. » .	2,942	2,621	3,230	2,303
13. » .	2,983	3,027	2,621	1,979
15. » .	3,273	2,562	2,787	3,020
16. » .	2,997	2,322	3,065	5,356
17. » .	2,958	2,292	3,458	2,939
18. » .	2,993	2,337	3,061	2,550
9. Juli .	3,987	2,175	5,772	2,623
10. » .	2,530	1,988	5,743	2,263
11. » .	2,649	1,942	4,676	2,771

Das Ergebniß der voranstehenden Tabelle läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

1) Das Verhältniß des durchschnittlichen Kohlensäuregehaltes in der Waldluft zu jenem der Freilandluft stellt sich im Ganzen wie
4,328 : 3,646 und zwar
am Tage wie 4,364 : 3,675,
bei Nacht wie 4,293 : 3,616;

2) am Tage war der Kohlensäuregehalt der Waldluft unter 95 Fällen
63 mal (66,32 %) größer
22 mal (23,16 %) kleiner
10 mal (10,52 %) eben so groß
} als jener im Freien;

3) bei Nacht war der Kohlensäuregehalt der Waldluft unter 67 Fällen
45 mal (67,16 %) größer
19 mal (28,36 %) kleiner
3 mal (4,48 %) eben so groß
} als jener im Freien;

4) im Ganzen war der Kohlensäuregehalt der Waldluft unter 162 Fällen
108 mal (66,66 %) größer
41 mal (25,31 %) kleiner
13 mal (8,02 %) eben so groß
} als jener im Freien.

Hieraus ergiebt sich zweifellos, daß im Allgemeinen die Waldluft kohlensäurereicher als jene im Freien ist. Jedoch muß diese Gesetzmäßigkeit Einschränkungen erfahren, welche durch den Wechsel der Jahreszeit bedingt sind.

Unter der naturgemäßen Voraussetzung, daß der Kohlensäurereichthum der Waldluft von der am Boden vor sich gehenden organischen Zersetzung herrührt, kann es zunächst nicht Wunder nehmen, daß in der rein winterlichen Periode, wo dieser Prozeß vollständig sistirt ist, auch die eben aufgestellten allgemeinen Beziehungen eine Veränderung zu erleiden vermögen. Setzt man die Dauer der kalten Jahreszeit vom Eintritt des Frostes am 25. November 1890 bis Beginn des Monats März 1891 fest, so ergiebt sich für diesen Zeitabschnitt nämlich Folgendes:

1) Das Verhältniß des Kohlensäuregehaltes der Waldluft zu jenem der Freilandluft stellt sich im Ganzen wie 4,058 : 4,067 und zwar
am Tage wie 4,319 : 3,925,
bei Nacht wie 3,797 : 4,210;

2) am Tage war der Kohlensäuregehalt der Waldluft unter 13 Fällen

6 mal (46,16 %) größer		als jener
1 mal (7,69 %) kleiner		der
6 mal (46,16 %) eben so groß		Freilandluft;

3) bei Nacht war der Kohlensäuregehalt der Waldluft unter 11 Fällen

3 mal (27,28 %) größer	als jener der
8 mal (72,72 %) kleiner	Freilandluft;

4) im Ganzen war der Kohlensäuregehalt der Waldluft unter 24 Fällen

9 mal (37,50 %) größer	als jener
9 mal (37,50 %) kleiner	der
6 mal (25,00 %) eben so groß	Freilandluft.

Hiernach neigt sich im Allgemeinen die Höhe des Kohlensäuregehaltes in der Waldluft jenem im Freien zu; am Tage wiegt zwar noch immer ein gewisser Kohlensäurereichthum im Walde durchschnittlich vor, bei Nacht hingegen entfällt auf die Freilandluft der bedeutendere Gehalt an diesem Gase.

Was zunächst die eben erwähnten Verhältnisse am Tage betrifft, muß vor allem auf die nicht unberücksichtigt zu lassende Thatsache hingewiesen werden, daß in einer relativ großen Zahl von Fällen sowohl im Freien als in der Schonung genau derselbe Kohlensäuregehalt ermittelt wurde. Bei Einsichtnahme der Witterungsaufzeichnungen ergiebt sich, daß an diesen Tagen die Temperatur stets tief unter dem Nullpunkt lag; die daraus resultirende, vollständige Sistirung der organischen Zersetzung im Walde kann mit den zu gleicher Zeit ermittelten Resultaten also ganz gut in Einklang gebracht werden, um so mehr, als die beiden im Freien und in der Schonung benutzten Versuchspunkte höchstens 30 Meter von einander lagen. Eine Ausnahme von dieser Gesetzmäßigkeit macht sich hingegen an jenen Tagen geltend, wo die Temperatur um Null schwankte, insofern sich alsdann ein Kohlensäureüberschuß in der Waldluft, vielleicht in Folge der Aufnahme der organischen Zersetzung, ergab.

Die Thatsache, daß in den Nächten der Winterperiode im Allgemeinen der höhere Kohlensäuregehalt auf die Freilandluft entfällt, kann unter Berücksichtigung der Temperaturverhältnisse ebenfalls einer Erklärung näher gebracht werden. Diese Beziehung traf nämlich fast stets

in Nächten zu, welche auf Tage mit Temperaturen unter Null folgten, selbst dann, wenn während dieses Tages an beiden Punkten derselbe Kohlensäuregehalt ermittelt wurde. Dies rührt wahrscheinlich daher, daß sich bei Nacht aus der Schonung in Folge der dort herrschenden höheren Temperatur ein aufwärts gerichteter Luftstrom erhebt, der vermöge seiner verdünnenden und zerstreuenden Wirkung den Kohlensäuregehalt herabzusetzen im Stande ist.

Betrachtet man alle übrigen, im Vorigen nicht mit inbegriffenen Versuchstage als auf die warme Jahreszeit entfallend, so ergiebt sich für diese Folgendes:

1) Das Verhältniß des Kohlensäuregehaltes der Waldluft zu jenem der Freilandluft stellt sich im Ganzen wie 4,381 : 3,567 und zwar
am Tage wie 4,317 : 3,635,
bei Nacht wie 4,391 : 3,498;

2) am Tage war der Kohlensäuregehalt der Waldluft unter 82 Fällen

57 mal	(69,51 %)	größer	als jener
21 mal	(25,61 %)	kleiner	der
4 mal	(4,88 %)	eben so groß	Freilandluft;

3) bei Nacht war der Kohlensäuregehalt der Waldluft unter 56 Fällen

42 mal	(75,00 %)	größer	als jener
11 mal	(19,65 %)	kleiner	der
3 mal	(5,35 %)	eben so groß	Freilandluft;

4) im Ganzen war der Kohlensäuregehalt der Waldluft unter 138 Fällen

99 mal	(71,74 %)	größer	als jener
32 mal	(23,19 %)	kleiner	der
7 mal	(5,07 %)	eben so groß	Freilandluft.

Noch etwas deutlicher als in der gleich anfangs gegebenen Zusammenstellung, wo kalte und warme Jahreszeit ungetrennt aufgeführt waren, ergiebt sich hier ein Ueberwiegen der Kohlensäure in der Waldluft für die warme Jahreszeit, offenbar in Folge der organischen Zersetzung daselbst. Daß trotzdem in einzelnen Fällen der höhere Kohlensäuregehalt auf die Freilandluft trifft, ist wohl dem Einflusse verschiedener, aus den Versuchsdaten nicht näher entnehmbarer Faktoren zuzuschreiben, welche an Effekt unter Umständen wahrscheinlich dann die Kohlensäureproduktion im Walde zu übertreffen vermögen, wenn dort die organische Zersetzung aus irgend welchen Gründen beeinträchtigt ist.

VIII. Kohlensäuregehalt der Luft über Wasserflächen.

Anhangsweise wurde auch versucht, die Luft über Wasserflächen einer Bestimmung des Kohlensäuregehaltes und der denselben beherrschenden Verhältnisse zu unterziehen. Von der Ansicht ausgehend, daß in dieser Beziehung jedenfalls ein Unterschied zwischen fließendem und stehendem Wasser vorhanden sei, hat Verf. beide Modifikationen zur Untersuchung benutzt. Die ungünstige Lage der verfügbaren Versuchspunkte machte jedoch nur eine sehr beschränkte Ausführung der diesbezüglichen Kohlensäurebestimmungen möglich.

1) Die Luft über fließendem Wasser.

Der Versuch wurde auf einer Landspitze inmitten eines zu industriellen Zwecken ausgebeuteten Arms der Isar durchgeführt, indem durch geeignete Vorrichtung sowohl die 1 cm über der Wasserfläche als auch jene 2 m darüber befindliche Luftschichte nach dem Aspirator geleitet wurde. Die wenigen Versuchsergebnisse sind folgende:

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft.						Nächtliche Zu- und Abnahme in Prozenten der Tagesbeobachtungen.				Witterungscharakter.			
	1 cm über dem Wasser.			2 m über dem Wasser.			1 cm über d. Wasser.		2 m über d. Wasser.		Tag.			Nacht.
	Tag.	Nacht.	Mittel.	Tag.	Nacht.	Mittel.	Zunahme.	Abnahme.	Zunahme.	Abnahme.	Temperatur.	Windstärke.	Niederschläge.	
1891														
5. Aug.	5,255	3,816	4,535	3,503	2,602	3,052	—	27,38	—	25,72	13,4	1,0	R.	—
6. »	3,168	3,023	3,096	2,816	2,700	2,758	—	4,58	—	4,12	14,9	2,0	R.	R.
7. »	3,181	3,104	3,142	2,827	2,759	2,793	—	2,42	—	2,41	14,3	1,7	—	—
10. »	2,771	3,686	3,228	3,141	2,984	3,062	33,02	—	—	4,99	20,8	1,7	—	R.
11. »	3,038	2,984	3,011	2,681	2,984	2,832	—	1,77	11,30	—	16,9	0,3	R.	—
12. »	2,551	2,571	2,561	2,915	2,571	2,743	0,78	—	—	11,80	18,3	1,3	—	R.
13. »	2,474	2,804	2,639	3,181	3,506	3,343	13,34	—	10,21	—	17,8	2,0	R.	R.

Unter der Einschränkung, daß mit Hülfe dieser geringen Anzahl von Resultaten keine verallgemeinerten Schlußfolgerungen gezogen werden dürfen, läßt sich für die zu den Versuchen benutzte Periode Folgendes ableiten:

1) Der Kohlensäuregehalt am Wasserspiegel nahm in regenlosen Nächten ab, hingegen in regnerischen zu;

2) der Kohlensäuregehalt der Luft 2 Meter über dem Wasser nahm im Allgemeinen bei Nacht ab;
3) am Wasserspiegel war am Tage bald mehr, bald weniger Kohlensäure als 2 Meter darüber, bei Nacht fast stets mehr oder gleich viel von diesem Gase vorhanden wie in der höher gelegenen Luftschichte.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die ermittelten Beziehungen größtentheils auf die im Flußwasser absorbirt gehaltenen Kohlensäuremengen zurückzuführen sind, welche durch die Berührung des in Bewegung befindlichen Mediums mit der Atmosphäre an dieselbe abgegeben werden. In erhöhtem Maße wird das Letztere der Fall sein, wenn in Folge bedeutender Lufttemperatur gleichzeitig eine energische Verdunstung von Flußwasser stattfindet, weil alsdann die von demselben absorbirt gewesenen Kohlensäuremengen ebenfalls in Freiheit gesetzt werden. Darauf dürfte die im ersten Theile von Satz 1 und wahrscheinlich auch die in Satz 2 ausgesprochene Thatsache zurückzuführen sein.

Im Gegensatz hierzu scheint jedoch bei länger anhaltender hoher Lufttemperatur die Kohlensäureabgabe aus dem Flußwasser geringer werden zu können, weil wahrscheinlich schon im Oberlaufe eine Erschöpfung in dieser Hinsicht eingeleitet wird. Darauf dürfte die Thatsache begründet werden, daß an den beiden einzigen Versuchstagen mit hoher Lufttemperatur (10., 12. August) am Wasserspiegel weniger Kohlensäure als 2 Meter darüber ermittelt wurde, wo das Eindringen von in nächster Nähe produzirten Rauches ermöglicht war, während direkt über dem Wasser keine oder nur eine geringe Kohlensäurelieferung stattfand.

Der Regen scheint dem Flußwasser unter Umständen Kohlensäure zuführen zu können, was einerseits aus der hohen Zahl am regnerischen 5. August für die Luft am Wasserspiegel, ferner ebenso aus dem Anwachsen der Kohlensäure daselbst an dem durch Regen ausgezeichneten 11. August hervorgeht, der nach einem regenfreien Tag folgte. Das Gleiche dürfte durch die im zweiten Theile von Satz 1 ausgesprochene Thatsache bewiesen sein, daß der Kohlensäuregehalt am Wasserspiegel in regnerischen Nächten zunimmt, während er sonst geringer wird.

Die durch Satz 2 ausgedrückte Beziehung, daß der Kohlensäuregehalt 2 Meter über dem Wasserspiegel bei Nacht fast stets abnahm,

muß wohl auf die nächtliche Ausschaltung der in der Nähe befindlichen industriellen Rauchquellen zurückgeführt werden, durch welche unter Tags sehr leicht Verbrennungsgase in die dem Flußlauf folgende Luftbewegung hineingelangen konnten.

Die Ursachen der an dritter Stelle angeführten Thatsachen können ohne Weiteres aus den bisherigen Betrachtungen abgeleitet werden.

2) Die Luft über stehendem Wasser.

Die betreffenden Versuche wurden in der gleichen Anordnung wie die vorigen durchgeführt; die benutzte Wasserfläche befand sich im k. Parke zu Nymphenburg; durch geeignete Vorrichtung wurden die Ausmündungen der Luftleitungen über 2 Meter vom Ufer entfernt in den Bereich des Teichspiegels hineingerückt. Die gewonnenen Resultate sind in der folgenden Tabelle enthalten:

Datum.	Kohlensäuregehalt der Luft.						Nächtliche Zu- und Abnahme in Prozenten der Tagesbeobachtungen.				Witterungscharakter.		
	1 cm über dem Wasser.			2 m über dem Wasser.			1 cm über d. Wasser.		2 m über d. Wasser.		Tag.		Nacht.
	Tag.	Nacht.	Mittel.	Tag.	Nacht.	Mittel.	Zunahme.	Abnahme.	Zunahme.	Abnahme.	Temperatur.	Niederschläge.	
1891													
1. Juli	8,102	5,021	6,561	2,142	3,290	2,716	—	38,03	53,59	—	28,6	—	—
2. »	7,842	3,412	5,627	2,381	3,205	2,793	—	56,48	34,60	—	23,9	—	R.
3. »	2,766	2,532	2,649	2,028	2,066	2,047	—	8,46	1,87	—	21,3	—	R.
4. »	2,977	—	—	1,074	—	—	—	—	—	—	15,2	R.	R.
5. »	3,668	—	—	2,217	—	—	—	—	—	—	11,4	R.	R.
6. »	3,166	2,885	3,026	2,811	3,903	3,357	—	8,87	38,85	—	16,3	R.	R.
7. »	2,872	2,303	2,587	1,974	1,948	1,961	—	19,81	—	1,32	18,7	R.	R.
8. »	2,844	2,258	2,551	1,778	3,414	2,596	—	20,60	92,01	—	15,3	R.	R.
9. »	2,839	2,295	2,567	1,672	1,589	1,630	—	19,16	—	4,97	15,2	—	R.
10. »	2,840	2,268	2,554	1,781	2,252	2,017	—	20,14	26,45	—	15,0	—	R.
11. »	2,832	2,399	2,615	1,942	2,089	2,015	—	15,29	7,62	—	15,0	—	R.
16. »	4,987	2,385	3,686	1,920	2,148	2,034	—	52,17	11,87	—	20,5	—	R.
17. »	5,517	2,208	3,862	1,841	2,052	1,946	—	59,98	11,46	—	21,2	—	—
18. »	6,123	4,215	5,169	2,084	2,879	2,481	—	31,16	38,14	—	21,7	—	—

Obige Zahlen drücken Folgendes aus:

1) Der Kohlensäuregehalt am Spiegel stehender Gewässer nimmt in der warmen Jahreszeit bei Nacht ab, jener der 2 Meter darüber befindlichen Luftschichte meistens zu;

2) **am Tage weist in der warmen Jahreszeit die auf dem Wasserspiegel ruhende Luftschichte durchwegs, bei Nacht in den meisten Fällen einen höheren Kohlensäuregehalt als die 2 Meter darüber gelegene Region auf.**

Auch hier wird von vorneherein auf die Abgabe von im Wasser absorbirt gehaltener, aus den verschiedensten Quellen (Zersetzung, Athmung der Wasserthiere) stammender Kohlensäure an die Atmosphäre hingewiesen werden müssen. Wie ein Blick auf die Tabelle lehrt, ist diese Gaslieferung im Allgemeinen proportional der herrschenden Lufttemperatur, weil durch eine beschleunigte Verdunstung des Wassers auch die Mengen frei werdender Kohlensäure zunehmen, und entfallen deshalb auch die höchsten Zahlen für die Luft direkt über dem Wasserspiegel auf die Tage mit den bedeutendsten Temperaturen (1., 2., 17., 18. Juli). Aus demselben Grunde muß auch in jener Luftschichte der Kohlensäuregehalt bei Nacht, wo eine Temperaturabnahme stattfindet, geringer werden.

Unter Umständen scheint jedoch an aufeinanderfolgenden, durch Wärmeabnahme ausgezeichneten Tagen auch ein Anwachsen der Kohlensäure direkt über dem Wasserspiegel stattfinden zu können, wie die Resultate der solchermaßen charakterisirten Tage vom 3. bis 5. Juli darthun. Im vorliegenden Falle dürfte hieran die extrem hohe Temperatur der unmittelbar vorausgegangenen Tage vom 27. Juni bis 2. Juli Schuld tragen, während welcher sich an der Teichoberfläche eine sehr warme und leichte Wasserschichte ausbildete, welcher fortwährend durch Verdunstung Kohlensäure entzogen wurde. In Folge der am Abend des 1. Juli beginnenden und weiterhin fortdauernden Abkühlung mußte aber diese Schichte allmählich untersinken und wurde durch tiefer gelegene Wassermengen ersetzt, welche, da sie in den vorausgegangenen Tagen keiner Verdunstung ausgesetzt waren, kohlensäurereicher sein mußten.

In Folge der nur vorübergehenden nächtlichen Temperaturabnahme kann jedoch die Abkühlung der obersten Wasserschichten nie so weit gedeihen, daß ein Untersinken derselben erfolgen könnte, und nimmt daher der Kohlensäuregehalt am Wasserspiegel ab. Auf den gleichen Grund ist auch wohl die durch Satz 1 in dessen zweitem Theile ausgesprochene Thatsache zurückzuführen, daß die 2 Meter über dem Wasser-

spiegel befindliche Luft bei Nacht kohlensäurereicher wird. Während nämlich am Tage in der warmen Jahreszeit die Temperatur des Wassers niedriger als die der Luft ist und daher die verdunstete Kohlensäure sich in einer stabilen Schichte dem Wasserspiegel auflagert, erheben sich bei Nacht, wo die Temperatur des Wassers nach warmen Tagen höher ist als die der sich abkühlenden Atmosphäre, aufwärts gerichtete Luftströmungen von der Oberfläche stehender Gewässer und entführen die daselbst noch vom vorigen Tage vorhandenen oder auch noch während der Nacht ausgeschiedenen Gase nach aufwärts. Dieser Vorgang wird besonders gleich nach Sonnenuntergang stattfinden, um welche Zeit die Nachtversuche auch jedes Mal schon im Gange waren.

Eine Ausnahme hiervon weisen nur die Resultate der Versuchsnächte vom 7. und 9. Juli auf, insofern der Kohlensäuregehalt 2 Meter über dem Wasserspiegel bei Nacht abnahm; in beiden Fällen dürfte eine Erklärung darin zu suchen sein, daß durch die nach Beendigung des Tagversuches erfolgenden ergiebigen Niederschläge die Teichoberfläche aus niedrig temperirtem Wasser bestand und deshalb keine aufsteigenden Luftströme zu Stande kommen konnten.

Die durch Satz 2 ausgedrückte Beziehung, daß die Luft am Wasserspiegel kohlensäurereicher als die 2 Meter darüber befindliche ist, muß nach dem Bisherigen als selbstverständlich erscheinen. Die beiden Ausnahmen hiervon in den Nächten vom 6. und 8. Juli sind vermuthlich auf außerhalb der Wasserfläche vor sich gegangene Kohlensäureausscheidungen (vielleicht Austreten der Grundluft durch massenhaftes Eindringen von Regenwasser) in der Umgebung zurückzuführen, wodurch nur die 2 Meter über dem Teich gelegene Luftschichte, nicht aber die tiefer befindliche mehr verunreinigt werden konnte, weil sich von der letzteren ein schwacher aufwärts gerichteter Luftstrom bei Nacht erhebt. Wahrscheinlichkeit gewinnt die Annahme einer derartigen Kohlensäurelieferung in jenen Nächten dadurch, daß der während derselben ermittelte Kohlensäuregehalt 2 Meter über dem Teich höher als der am vorangegangenen Tage am Wasserspiegel ermittelte sich ergab, während in allen anderen Fällen aus leicht begreiflichen Gründen das Gegentheil zutreffen mußte.

Am Schlusse der Besprechung sämmtlicher Versuchsreihen angelangt, wird schon ein flüchtiger Rückblick auf dieselben genügen, unabweisbar das Bild viel bedeutenderer Schwankungen des Kohlensäuregehaltes der Atmosphäre zu ergeben, als man dieselben in Folge der *Reiset*'schen Behauptung so vielfach geneigt war, allgemein anzunehmen. Zur besseren Uebersicht mag es aber nicht unangebracht erscheinen, auch festzustellen, innerhalb welcher Grenzen im Laufe der vorliegenden Untersuchungen die größte Anzahl der ermittelten Resultate entfällt. Zu diesem Zwecke wird es sich empfehlen, die gewonnenen Zahlen in eine von 0,5 zu 0,5 getheilte Skala einzureihen. Unter Zugrundelegung derselben ergab sich der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre unter 1741 Bestimmungen

in	3	Fällen	zwischen	0,0	u.	0,5	in	10	Fällen	zwischen	6,5	u.	7,0
»	7	»	»	0,5	»	1,0	»	7	»	»	7,0	»	7,5
»	8	»	»	1,0	»	1,5	»	11	»	»	7,5	»	8,0
»	52	»	»	1,5	»	2,0	»	3	»	»	8,0	»	8,5
»	165	»	»	2,0	»	2,5	»	1	Fall	»	8,5	»	9,0
»	248	»	»	2,5	»	3,0	»	2	Fällen	»	9,0	»	9,5
»	248	»	»	3,0	»	3,5	»	2	»	»	9,5	»	10,0
»	279	»	»	3,5	»	4,0	»	2	»	»	10,0	»	10,5
»	265	»	»	4,0	»	4,5	»	1	Fall	»	11,0	»	11,5
»	203	»	»	4,5	»	5,0	»	1	»	»	15,0	»	15,5
»	119	»	»	5,0	»	5,5	»	1	»	»	16,5	»	17,0
»	50	»	»	5,5	»	6,0	»	1	»	»	31,5	»	32,0.
»	52	»	»	6,0	»	6,5							

Hieraus geht unzweideutig hervor, daß die größte Anzahl der Versuchsresultate (1527 = 87,75 %) auf einen zwischen 2,0—5,5 Volumtheilen und im Mittel daraus 3,67 Volumtheile auf 10000 Volumtheile Luft betragenden Kohlensäuregehalt der Atmosphäre hinweist, ein Ergebniß, welches neuerdings darthut, daß die *Reiset*'sche Annahme weit geringerer Oszillationen dieses nach ihm außerdem in unbedeutenderen Mengen in der Luft enthaltenen Gases als nicht stichhaltig bezeichnet werden muß.

Neue Litteratur.

A. Müttrich. **Ueber den Einfluß des Waldes auf die Größe der atmosphärischen Niederschläge.** Das Wetter. 1892. Heft 2—4.

R. Billwiller und *A. Bühler.* **Die forstlich-meteorologischen Stationen.** Mittheilungen der schweizerischen Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen. Bd. I. Heft 2 und 3.

R. Aßmann. **Die künstliche Erzeugung von Regen.** Das Wetter. 1892. Heft 1. S. 1.

W. Trabert. **Die Wärmestrahlung der atmosphärischen Luft.** Meteor. Zeitschrift. 1892. Heft 2. S. 41.

W. Krebs. **Herbstfröste in Deutschland 1891.** Das Wetter. 1892. Heft 1. S. 15.

F. H. Haase. **Die atmosphärische Elektrizität.** Berlin. 1892.

C. Kaßner. **Die Höhe der Wolken.** Das Wetter. 1892. Heft 1. S. 13.

K. Singer. **Wolkentafeln.** 12 Bilder in Kupferlichtdruck. München. 1892. Theodor Ackermann.

R. Aßmann. **Das Aspirationshygrometer.** Zeitschrift für Instrumentenkunde. 1892. Heft 1.

M. Lindner. **Die Technik des Blitzableiters.** Weimar. 1892. Fr. Voigt.

L. H. Meyer. **Anleitung zu meteorologischen Beobachtungen.** Das Wetter. 1891. Heft 12. S. 263.

J. van Bebber. **Prüfung der Wetterprognosen.** Das Wetter. 1891. Heft 12. S. 268.

R. Falb. **Das Wetter und der Mond.** Zweite vermehrte Auflage. Wien. 1892.

J. M. Pernter. ***Falb*'s kritische Tage.** Berlin 1892. Sammlung populärer Schriften, herausgegeben von der Ges. Urania in Berlin. Nr. 10.

I. Physik des Bodens.

Aus dem agrikulturchemischen und bodenkundlichen Laboratorium der Universität München.

VI. Der Einfluß der Meereshöhe auf die Bodentemperatur mit spezieller Berücksichtigung der Bodenwärme Münchens.

Von Professor Dr. **E. Ebermayer** in München.

Die Atmosphäre erhält bekanntlich einen großen Theil ihrer Wärme von der Erdoberfläche aus zugeführt; die Temperaturverhältnisse der unteren Luftschichten stehen daher in einer gewissen Beziehung zum Erwärmungsgrad der Erdoberfläche. Daraus folgt, daß die Bodentemperatur ein sehr beachtenswerther klimatischer Faktor ist, der speziell für die Pflanzenkultur eine große Bedeutung hat, da alle chemischen, physikalischen und biologischen Vorgänge im Boden, insbesondere auch die Thätigkeit (osmotische Arbeitsleistung) der Wurzeln, mithin auch die Aufnahme von Wasser und gelösten Nährsalzen in erster Linie durch die Bodenwärme regulirt werden. Unsere Kenntnisse über die geographische, örtliche und zeitliche Vertheilung dieses klimatischen Faktors, vor allem aber über den Einfluß, welchen die Meereshöhe auf die Bodentemperatur hat, sind noch äußerst dürftig. In letzterer Beziehung liegt bis jetzt nicht eine einzige systematische Untersuchungsreihe vor. Wir wissen nur, daß die Intensität der Sonnenstrahlen mit der Erhebung über die Meeresoberfläche zunimmt und die starke Insolation an heiteren Tagen eine besondere Eigenthümlichkeit des Gebirgsklimas ist.

Im Zusammenhange damit steht die durch einige gelegentliche Beobachtungen konstatirte Thatsache, daß auf dem Gipfel hoher Berge (Faulhorn, Pic du Midi) die Bodenoberfläche an heiteren Tagen sich im

Vergleich zur Luft stärker erwärmt und ein größerer relativer Wärmeüberschuß sich ansammelt als in Tieflagen. «Durch hohe Bodenwärme und große Intensität des Lichtes unterscheidet sich daher das Klima der Gebirge vortheilhaft von jenem der Polargegenden bei gleicher Luftwärme» *(Hann).* Die dünnere, wasserärmere und reinere (staubärmere) Luft in höheren Gebirgslagen bedingt aber neben der intensiveren Insolation bei Tag auch eine stärkere Wärmeausstrahlung bei Nacht, wodurch während der wärmeren Jahreszeit auf der Oberfläche der Gebirgsböden große tägliche Temperaturschwankungen hervorgerufen werden.

Aus diesen Vorgängen, die sich nur an hellen Tagen in bemerkenswerther Weise geltend machen, können wir aber keine Schlüsse ziehen auf die mittleren Temperaturverhältnisse der oberen Bodenschichten, noch viel weniger auf den Gang und die Vertheilung der Wärme in den tieferen Bodenschichten innerhalb der Wurzelregion der Pflanzen. Um darüber Aufschluß zu erhalten, sind regelmäßige, längere Zeit fortgesetzte Bodentemperaturmessungen bis zu 1 m Tiefe in verschiedenen Höhenlagen absolut nothwendig. Ein reiches Material zur Beantwortung vorliegender Frage lieferten die forstlich-meteorologischen Stationen in Bayern, mit deren Einrichtung ich schon vor 25 Jahren (im Jahre 1867) begonnen habe und die bis in die neueste Zeit fortgesetzt wurde. Diese Stationen befinden sich in Höhenlagen zwischen 136 und 1136 m Seehöhe und an den meisten wurden die regelmäßigen täglich zweimaligen Beobachtungen 10—12 Jahre vorgenommen.

An der Hand dieses werthvollen Materials wollen wir nun prüfen, welchen Einfluß die Meereshöhe hat:

1) auf die mittlere Temperatur der Bodenkrume bis auf 90 cm Tiefe im Jahresdurchschnitt, im Monatsmittel und in den einzelnen Jahreszeiten;
2) auf die Bodentemperatur im Vergleich zur Lufttemperatur;
3) auf die absoluten Temperaturextreme und auf die jährlichen Wärmeschwankungen im Boden.

Betrachten wir zunächst in nachstehender Tabelle die

Tab. I. Mittlere Jahrestemperatur des Bodens an Orten von verschiedener Meereshöhe.

Orte und Meereshöhe.	Beobachtungsjahre.	Bodenbeschaffenheit.	Mittlere Jahrestemperatur in (*Celsius*) 0—30	30—60	60—90	0—90[1]
			cm Tiefe.			
Aschaffenburg 136 m	1868 bis 1877	Humoser, sandiger Lehmboden mit Gras bewachsen	10,29	10,25	10,39	10,33
Altenfurt im Nürnberg. Reichswald 333 m	1868 bis 1879	Sandboden mit Gras bewachsen	8,88	8,95	9,20	9,00
Ebrach im Steigerwald 390 m	1868 bis 1878	Sandiger Lehmboden mit Gras bewachsen	8,69	8,93	8,97	8,88
Johanneskreuz im Pfälzerwald 489 m	1868 bis 1878	Feinkörniger Sandboden mit nackter Oberfläche	9,31	9,52	9,44	9,34
Rohrbrunn im Spessart 489 m	1868 b. 1879	Lehmiger Sandboden mit Gras bewachsen	8,52	8,86	8,95	8,70
München 525 m	1881 b. 1884	Lehmiger Boden mit nackter Oberfläche	8,61	8,93	9,13	8,82
Seeshaupt am Starnberger See 604 m	1868 bis 1877	Kalkgerölle mit Lehm; mit nackter Oberfläche	8,84	8,75	8,69	8,78
Hirschhorn im Fichtelgebirge 777 m	1882 bis 1891	Humoser Lehmboden mit Gras bewachsen	6,19	6,44	6,51	6,32
Duschlberg im bayer. Wald 925 m	1868 bis 1879	Lehmiger Boden mit Gras bewachsen	5,65	6,30	6,98	6,18
Falleck bei Hirschbichel in den Ostalpen (auf österr. Gebiete) 1136 m	1883 bis 1887	Lehmboden mit Gras bewachsen	5,53	5,85	6,05	5,77

Aus obigen Zahlenreihen geht die Abnahme der mittleren Jahrestemperatur des Bodens mit steigender Meereshöhe deutlich hervor. Am günstigsten sind die Wärmeverhältnisse des Bodens an der tiefstgelegenen Station Aschaffenburg; es ist hier der Wurzelbodenraum (von 0—90 cm Tiefe) im Jahresmittel um 4,5° C. wärmer als an dem 1000 m höher gelegenen Orte Falleck in den Alpen und um 4° wärmer als in Hirschhorn im Fichtelgebirge.

[1]) Aus den Einzelbeobachtungen in der Oberfläche, in 15, 30, 60 und 90 cm Tiefe berechnet.

Sehr bemerkenswerth ist die am letzteren Orte in einer Höhe von 800 m beginnende, starke, plötzliche Abnahme der Bodenwärme. Es läßt sich diese Erscheinung nur dadurch erklären, daß von dieser Region an die durch die dünnere, wasserärmere und reinere Luft bewirkte intensivere Wärmeausstrahlung sich in höherem Grade geltend macht und daß in diesen Höhen an trüben bewölkten Tagen die durchschnittliche Wärmezufuhr zum Boden geringer ist als an den tiefer gelegenen Orten. Unterhalb dieser Region: in Niederungen, im Hügellande und Mittelgebirge nimmt mit der vertikalen Erhebung die Bodentemperatur langsamer ab als in den höheren Lagen des Mittelgebirges beim Uebergang zum Hochgebirge.

Einen ganz besonderen beachtenswerthen Einfluß auf die Bodentemperatur hat die bayerische Hochebene. So besitzt z. B. München seiner Höhenlage entsprechend im Jahresdurchschnitt dieselbe Bodentemperatur wie der 30 m tiefer liegende Ort Rohrbrunn im Spessart; auffallender Weise ist aber der Münchener Boden im Sommerhalbjahr fast ebenso warm wie der in Aschaffenburg, worüber nachstehende Tabellen näheren Aufschluß geben.

Tab. II. **Mittlere Boden- und Lufttemperatur in den einzelnen Monaten und Jahreszeiten.**

Aschaffenburg 136 m. Humoser, sandiger Lehmboden mit Gras bewachsen.

Monate und Jahreszeiten	Mittlere Lufttemperatur	Mittl. Temp. d. Bod. von 0—30 cm Tiefe	30—60	60—90	0—90[1]
März	4,43	4,78	4,84	4,90	4,83
April	8,77	9,99	9,18	8,38	9,41
Mai	13,30	14,14	13,00	11,86	13,16
Frühjahr	8,83	9,64	9,01	8,38	9,13
Juni	16,91	18,38	16,86	15,34	17,17
Juli	18,47	19,73	18,53	17,32	18,76
August	17,99	18,84	18,23	17,63	18,36
Sommer	17,79	18,98	17,87	16,76	18,10
September	14,89	15,21	15,45	15,70	15,32
Oktober	8,45	10,44	11,43	12,41	11,23
November	4,53	5,38	6,83	8,27	6,54
Herbst	9,29	10,34	11,24	12,13	11,03
Dezember	-0,26	3,02	4,34	5,65	4,08
Januar	-2,31	1,62	2,85	4,07	2,60
Februar	1,95	1,96	2,70	3,44	2,55
Winter	-0,21	2,20	3,29	4,39	3,08
Jahresmittel	8,92	10,29	10,35	10,40	10,34

Rohrbrunn 489 m. Sandiger Lehmboden mit Gras bewachsen.

Monate und Jahreszeiten	Mittlere Lufttemperatur	Mittl. Temp. d. Bod. von 0—30 cm Tiefe	30—60	60—90	0—90
März	3,25	2,65	2,97	3,29	2,91
April	8,19	7,44	6,98	6,53	7,07
Mai	11,54	11,49	10,64	9,78	10,80
Frühjahr	7,66	7,19	6,86	6,53	6,93
Juni	15,62	15,60	14,58	13,56	14,79
Juli	18,02	17,66	16,63	15,60	16,84
August	17,39	17,16	16,75	16,35	16,84
Sommer	17,01	16,81	15,99	15,17	16,16
September	13,74	14,06	14,39	14,72	14,32
Oktober	8,70	9,40	10,40	11,40	10,20
November	2,50	4,03	5,55	7,07	5,25
Herbst	8,31	9,16	10,11	11,06	9,92
Dezember	1,49	1,54	2,87	4,19	2,60
Januar	-1,05	0,67	1,75	2,83	1,55
Februar	0,05	0,52	1,36	2,20	1,19
Winter	0,16	0,91	1,99	3,07	1,78
Jahresmittel	8,29	8,52	8,74	8,96	8,69

München 525 m. Lehmboden mit nackter Oberfläche.

Monate und Jahreszeiten	Mittlere Lufttemperatur	Mittl. Temp. d. Bod. von 0—30 cm Tiefe	30—60	60—90	0—90
März	3,08	2,95	3,00	3,06	3,00
April	6,15	7,34	6,99	6,65	7,07
Mai	12,20	14,18	12,76	11,34	13,04
Frühjahr	7,14	8,16	7,59	7,02	7,70
Juni	14,10	16,13	15,35	14,56	15,50
Juli	17,47	19,50	18,65	17,79	18,82
August	16,03	17,71	17,44	17,17	17,49
Sommer	15,87	17,78	17,14	16,50	17,27
September	12,43	14,00	14,40	14,81	14,33
Oktober	6,66	7,64	9,13	10,61	8,83
November	2,77	3,31	4,85	6,38	4,54
Herbst	7,29	8,32	9,46	10,60	9,23
Dezember	-0,45	1,44	2,59	3,74	2,36
Januar	-1,81	-0,68	0,74	2,15	0,45
Februar	0,52	-0,06	0,64	1,33	0,49
Winter	-0,58	0,35	1,34	2,40	1,10
Jahresmittel	7,43	8,65	8,87	9,13	8,89

Hirschhorn 777 m. Lehmboden mit Gras bewachsen.

Monate und Jahreszeiten	Mittlere Lufttemperatur	Mittl. Temp. d. Bod. von 0—30 cm Tiefe	30—60	60—90	0—90
März	0,39	0,08	0,44	0,79	0,36
April	6,11	4,30	3,40	2,51	3,59
Mai	10,25	10,44	9,15	7,86	9,41
Frühjahr	5,58	4,94	4,33	3,72	4,45
Juni	13,12	14,06	12,87	11,68	13,10
Juli	14,50	15,67	14,64	13,61	14,85
August	13,45	14,38	13,94	13,49	14,02
Sommer	13,69	14,70	13,82	12,93	13,99
September	9,99	11,13	11,49	11,85	11,42
Oktober	5,18	5,86	6,87	7,88	6,66
November	0,32	1,67	2,67	3,68	2,67
Herbst	5,16	6,22	7,01	7,80	6,92
Dezember	-3,37	-0,55	0,57	2,06	0,50
Januar	-3,23	-1,44	-0,06	1,33	-0,33
Februar	-2,52	-1,25	-0,19	0,87	-0,40
Winter	-3,04	-1,08	0,17	1,42	-0,08
Jahresmittel	5,28	6,19	6,35	6,52	6,32

Falleck 1136 m. Lehmboden mit Gras bewachsen u. in 1 m Tiefe Grundwasser.

Monate und Jahreszeiten	Mittlere Lufttemperatur	Mittl. Temp. d. Bod. von 0—30 cm Tiefe	30—60	60—90	0—90
März	-0,22	-0,46	0,16	0,77	0,19
April	5,94	4,49	3,41	2,33	3,63
Mai	9,06	8,78	7,96	7,15	8,13
Frühjahr	4,93	4,27	3,85	3,42	3,98
Juni	11,57	11,61	10,89	10,17	11,03
Juli	14,65	14,54	13,57	12,60	13,77
August	13,39	13,28	13,06	12,83	13,10
Sommer	13,20	13,14	12,50	11,87	12,63
September	11,46	11,56	11,85	12,14	11,77
Oktober	5,18	6,45	7,46	8,47	7,26
November	1,22	2,20	3,63	5,06	3,35
Herbst	5,95	6,74	7,65	8,56	7,46
Dezember	-3,30	-0,46	1,14	2,73	0,82
Januar	-3,09	-2,01	-0,23	1,55	-0,57
Februar	-1,00	-1,51	-0,83	-0,16	-0,46
Winter	-2,46	-1,33	-0,02	1,37	-0,07
Jahresmittel	5,40	5,70	6,00	6,30	6,00

[1] Berechnet aus den Einzelbeobachtungen in der Oberfläche, in 15, 30, 60 und 90 cm Tiefe.

Tab. III.

Mittlere Bodenwärme im Sommer- und Winterhalbjahr.

Berechnet für die gesammte Bodenkrume von 0—90 cm Tiefe.

	Aschaffenburg.	Rohrbrunn.	München.	Hirschhorn.	Falleck.
			Sommerhalbjahr (Vegetationszeit).		
April . . .	9,41	7,07	7,07	3,59	3,63
Mai	13,16	10,80	13,04	9,41	8,13
Juni	17,17	14,79	15,50	13,10	11,03
Juli	18,76	16,84	18,82	14,85	13,77
August . .	18,36	16,84	17,49	14,02	13,10
September .	15,32	14,32	14,33	11,42	11,77
Mittel . . .	**15,36**	**13,44**	**14,37**	**11,06**	**10,07**
			Winterhalbjahr		
Oktober . .	11,23	10,20	8,83	6,66	7,26
November .	6,54	5,25	4.54	2,67	3,35
Dezember .	4,08	2,60	2,36	0,50	0,82
Januar . . .	2,60	1,55	0,45	−0,33	−0,57
Februar . .	2,55	1,19	0,49	−0,40	−0,46
März . . .	4,83	2,91	3,00	0,36	0,19
Mittel . . .	**5,30**	**3,95**	**3,28**	**1,58**	**1,76**

Der Tabelle III ist zu entnehmen, daß den Pflanzenwurzeln während der Vegetationszeit folgende Mitteltemperaturen zur Verfügung stehen:

Orte.	Vom April bis inkl. September.	Im wärmsten Monat Juli.
In		
Aschaffenburg . .	15,4	18,8
Rohrbrunn	13,4	16,8
München	14,4	18,8
Hirschhorn	11,0	14,8
Falleck	10,0	13,8

Trotzdem München 389 m höher liegt als Aschaffenburg, erwärmt sich dort die Bodenkrume im Juli ebenso stark wie an letzterem Orte; selbst während der Vegetationszeit (vom April bis September) ist der Münchener Boden durchschnittlich nur um 1° kälter als der Aschaffenburger. Diese günstigen Wärmeverhältnisse des Bodens verdankt München jedenfalls nur dem Umstande, daß sich, wie aus Tab. II zu ersehen ist, in der bayerischen Hochebene die größere Intensität der Sonnenstrahlen vom Mai bis inkl. August mehr geltend macht als auf Bergkuppen oder kleineren Plateaus von gleicher Höhenlage (wie in Rohrbrunn im Spessart).

Der Einwand, die Ursache dieser Erscheinung könnte auch darin liegen, daß der Boden in Aschaffenburg und Rohrbrunn mit Gras bewachsen, in München aber unbedeckt war, ist deshalb nicht stichhaltig, weil nach meinen mehrjährigen Untersuchungen die Einwirkung lebender Decken (Gras, junger Pflanzen) auf die Bodentemperatur sich nur bis auf 60 cm Tiefe erstreckt[1]. Berechnet man aber für München und Aschaffenburg mit Hülfe der Tab. II die Mitteltemperaturen des Bodens für die Tiefen von 60—90 cm, so gelangt man zu demselben, ja für München noch zu einem etwas günstigeren Resultate.

Wie bedeutend die Bodenoberfläche in der bayerischen Hochebene bei hohem Stande der Sonne sich erwärmen kann, geht aus meinen Untersuchungen (1881—1884) hervor, wonach die absoluten Maxima auf der Bodenoberfläche in München im 4jährigen Mittel folgende Werthe erreichten:

auf Moorerde	58,5° C.
» feink. Quarzsand . .	57,1° »
» Kalksand	55,2° »
» Lehm	52,6° ».

Die höchsten beobachteten Temperaturen betrugen:

auf Moorerde . . .	62,4°	am 4.	Juli	1884
» feink. Quarzsand	60,0°	» 16.	»	1884
» Kalksand . . .	58,0°	» 6.	»	1881
» Lehm	54,8°	» 13.	»	1882.

Bezeichnend für den Boden in der bayerischen Hochebene ist ferner, daß der starken Erwärmung an hellen Tagen eine relativ große Wärmeausstrahlung und Abkühlung in der Nacht gegenübersteht, wodurch in den oberen Schichten des Bodens bedeutende tägliche Temperaturschwankungen hervorgerufen werden und im Frühjahr und Herbst die Bildung von Spät- und Frühfrösten begünstigt wird. Einen Beleg hierfür bildet nachstehende Tabelle, aus welcher die absoluten Temperaturextreme und die Werthe der höchsten täglichen Wärmeschwankungen auf der Oberfläche des Bodens in München im 4jährigen Mittel entnommen werden können[2].

---

1) Vergl. XIV. Bd., 5. Heft dieser Zeitschrift.

2) Vergl. diese Zeitschrift, XIV. Bd., 3. u. 4. Heft.

Tab. IV.

Monate.	Feinkörniger Quarzsand.			Kalksand.			Lehm.			Moorerde.		
	Mittl. absol.		Amplitude.	Mittl. absol.		Amplitude.	Mittl. absol.		Amplitude.	Mittl. absol.		Amplitude.
	Max.	Min.		Max.	Min.		Max.	Min.		Max.	Min.	
April . . .	24,7	0,0	24,7	23,2	0,9	22,3	22,9	0,0	22,9	22,7	0,8	**21,9**
Mai	37,1	5,6	**31,5**	35,0	5,6	**29,4**	32,7	5,3	**27,4**	35,9	5,2	**30,7**
Juni	35,5	8,7	26,8	34,0	9,0	25,0	33,0	8,7	24,3	34,4	8,8	25,6
Juli	40,9	11,5	29,4	38,0	11,8	26,2	36,9	11,7	25,2	39,8	11,5	28,3
August . . .	36,7	10,3	26,4	35,7	10,3	25,4	34,0	10,2	23,8	36,3	9,6	26,7
September .	29,0	8,0	21,0	27,0	7,5	19,5	26,5	7,1	19,4	27,8	6,6	21,2
Oktober . .	16,8	2,8	14,0	16,2	2,8	13,4	15,1	2,7	12,4	16,1	2,5	13,6
November .	8,6	-1,4	10,0	7,8	-1,2	9,0	8,1	-1,1	9,2	7,5	-1,1	8,6
Dezember .	3,5	-2,7	**6,2**	3,6	-2,6	**6,12**	3,4	-2,6	**6,0**	3,3	-2,0	**5,3**
Januar . . .	3,2	-6,1	9,3	2,2	-5,7	7,9	1,1	-5,9	7,0	2,0	-5,2	7,2
Februar . .	9,5	-4,6	14,1	8,1	-4,0	12,1	8,3	-4,1	12,4	8,1	-3,9	12,0
März . . .	16,2	-2,3	18,5	15,7	-2,0	17,7	14,8	-2,5	17,3	15,0	-1,4	16,4

Während der Vegetationszeit (vom April bis September) sind demnach die täglichen Bodentemperaturschwankungen viel stärker als im Winterhalbjahr. Die höchsten Werthe (27—31,5°) erreichen sie im Monat Mai, die kleinsten im Dezember (5—6°). Beim Eindringen der Temperaturextreme in den Boden werden sie mehr und mehr abgeschwächt, so daß schon in 1 m Tiefe die täglichen Schwankungen aufhören und zwischen Tag- und Nachttemperatur kein Unterschied mehr besteht.

Im Winterhalbjahr (vom Oktober bis März), also bei tieferem Stande der Sonne, sind die Bodentemperaturen in der bayer. Hochebene normal, d. h. sie entsprechen der Höhenlage und bleiben im Mittel gegen jene zu Rohrbrunn im Spessart wesentlich zurück. Erst vom Mai an bis September macht sich die intensivere Wirkung der Sonnenstrahlen am Tage und die relativ stärkere Abkühlung in der Nacht wieder in bemerkenswerther Weise geltend.

Die starke Abnahme der Bodentemperatur in Höhen von 800 m und darüber kommt auch in den obigen Tabellen II und III, namentlich während der wärmeren Jahreszeit, sehr deutlich zum Ausdruck. Der Wärmeunterschied der Bodenkrume zwischen Aschaffenburg und Hirschhorn, welche gleichem Breitegrade angehören, beträgt bei einer Höhendifferenz von 641 m

im	Frühjahr	4,68°,	entsprechend	0,73°	pro	100	m,
»	Sommer	5,11°,	»	0,79°	»	»	»
»	Herbst	4,11°,	»	0,64°	»	»	»
»	Winter	3,16°,	»	0,49°	»	»	»
			im Jahresmittel	0,66°.			

München läßt sich seiner abnormen Bodentemperaturverhältnisse wegen mit anderen Orten nicht vergleichen.

Aus dem gesammten vorliegenden Beobachtungsmaterial geht aber hervor, daß im Sommer und Frühjahr die Höhenlage auf die Bodentemperatur einen größeren Einfluß ausübt als in der kälteren Periode, zumal im Winter. Am geringsten ist derselbe in den Monaten Januar und Februar, wo die Temperaturunterschiede innerhalb der Bodenkrume in allen Höhenlagen die kleinsten Werthe erreichen.

Unter normalen Verhältnissen scheint zu Folge obiger Daten die Bodentemperatur mit der Meereshöhe etwas schneller abzunehmen als die Lufttemperatur.

Für die Gebirgsböden in Lagen von 800—1200 m ist neben der langsamen Abschwächung der Bodenwärme mit steigender Höhe charakteristisch, daß in diesen Regionen die Mitteltemperatur des Wurzelbodenraumes im April nur etwa 3,5° beträgt und erst im Mai bei einer durchschnittlichen Temperatur von 9—8° die Vegetationszeit beginnen kann. Selbst im Juli erreicht die Bodenkrume in diesen Höhenlagen im Mittel nur 15 und 14° und schon im Oktober fällt dieselbe auf 7—6,5, womit die Vegetationszeit abschließt.

Erwähnenswerth ist noch, daß in den Alpen (Falleck) die Bodenkrume im Herbst und Winter, namentlich vom September bis Dezember, durchschnittlich etwas wärmer war als in dem tiefer gelegenen Hirschhorn im Fichtelgebirge, was sich durch die in den Alpen häufig vorkommende «Temperatur-Umkehrung» der Luft, dann durch die früher eintretende Schneedecke erklären dürfte.

Weit günstiger sind die Wärmeverhältnisse des Bodens in den tieferen Lagen, zumal in Aschaffenburg, wo schon im April eine Mitteltemperatur von 9,5° herrschend ist, die sich im Mai auf 13°, im Juli auf 19° erhebt, selbst im Oktober noch etwas über 11° beträgt und erst im November auf 6,5° fällt.

Der Einfluß der Meereshöhe auf die Bodenwärme im Vergleich zur Lufttemperatur

kann folgender Zusammenstellung entnommen werden, die aus Tab. IV berechnet wurde.

Tab. V. Abweichungen der Bodenwärme von der mittleren Lufttemperatur

in den einzelnen Monaten und Jahreszeiten.

Der Boden war um nachstehende Grade wärmer oder kälter (-) als die äußere Luft zu derselben Zeit.

(Berechnet aus Tabelle IV.)

Monate und Jahreszeiten.	Aschaffenburg 136 m Seehöhe. Mit Gras bewachsener Boden.				Rohrbrunn 489 m Seehöhe. Mit Gras bewachsener Boden.				München 520 m Seehöhe. Nackte Bodenoberfläche.				Hirschhorn 777 m Seehöhe. Mit Gras bewachsener Boden.				Falleck 1136 m Seehöhe. Mit Gras bewachsener Boden.			
	0—30	30—60	60—90	0—90	0—30	30—60	60—90	0—90	0—30	30—60	60—90	0—90	0—30	30—60	60—90	0—90	0—30	30—60	60—90	0—90
	cm Tiefe.				cm Tiefe.				cm Tiefe				cm Tiefe.				cm Tiefe.			
März . . .	0,35	0,41	0,47	0,40	-0,60	-0,28	0,04	-0,34	-0,13	-0,07	-0,02	-0,08	-0,31	0,04	0,40	0,03	-0,24	0,37	0,99	0,41
April . . .	1,22	0,41	-0,39	0,64	-0,75	-1,20	-1,66	-1,12	1,19	0,85	0,50	0,92	-1,81	-2,70	-3,60	-2,52	-1,45	-2,53	-3,61	-2,31
Mai	0,84	-0,30	-1,44	-0,14	-0,05	-0,90	-1,76	-0,74	1,98	0,56	-0,86	0,84	0,19	-1,10	-2,39	-1,10	-0,28	-1,09	-1,91	-0,93
Frühjahr . .	0,81	0,18	-0,45	0,30	-0,47	-0,80	-1,13	-0,74	1,01	0,44	-0,13	0,56	-0,64	-1,25	-1,86	-1,20	-0,66	-1,08	-1,51	-0,94
Juni	1,47	-0,05	-1,57	0,26	-0,02	-1,04	-2,06	-0,83	2,03	1,24	0,46	1,40	0,94	-0,25	-1,44	-0,02	0,04	-0,70	-1,40	-0,54
Juli	1,26	0,05	-1,15	0,29	-0,36	-1,39	-2,42	-1,18	2,03	1,17	0,32	1,35	1,17	0,14	-0,89	0,35	-0,11	-1,08	-2,05	-0,88
August . . .	0,85	0,24	-0,36	0,37	-0,23	-0,63	-1,04	-0,55	1,68	1,41	1,14	1,46	0,93	0,48	0,04	0,57	-0,11	-0,33	-0,56	-0,29
Sommer . .	1,19	0,08	-1,03	0,30	-0,20	-1,02	-1,84	-0,85	1,91	1,27	0,64	1,40	1,01	0,13	-0,76	0,30	-0,06	-0,70	-1,34	-0,57
September .	0,32	0,56	0,81	0,43	0,32	0,65	0,98	0,58	1,57	1,97	2,38	1,90	1,14	1,50	1,86	1,43	0,10	0,39	0,68	0,31
Oktober . .	1,99	2,98	3,96	2,78	0,70	1,70	2,70	1,50	0,98	2,46	3,95	2,17	0,68	1,69	2,70	1,48	1,27	2,28	3,29	2,08
November. .	0,85	2,29	3,74	2,01	1,53	3,05	4,57	2,75	0,54	2,07	3,61	1,77	1,35	2,35	3,36	2,35	0,98	2,41	3,84	2,13
Herbst . . .	1,05	1,94	2,84	1,74	0,85	1,80	2,75	1,61	1,03	2,17	3,31	1,92	1,06	1,85	2,64	1,75	0,78	1,69	2,60	1,51
Dezember . .	3,28	4,59	5,91	4,34	0,05	1,37	2,70	1,11	1,89	3,04	4,19	2,81	2,82	4,12	5,43	3,87	2,84	4,43	6,03	4,12
Januar . . .	3,93	5,16	6,38	4,91	1,72	2,80	3,88	2,60	1,13	2,54	3,96	2,26	1,79	3,17	4,56	2,90	1,08	2,86	4,64	2,52
Februar . .	0,01	0,75	1,49	0,60	0,47	1,81	2,15	1,14	-0,58	0,12	0,81	-0,03	1,27	2,33	3,39	2,12	-0,51	0,16	0,84	0,54
Winter . . .	2,40	3,50	4,60	3,29	0,75	1,98	2,91	1,62	0,81	-1,01	2,99	1,68	1,96	3,21	4,46	2,96	1,14	2,49	3,84	2,39
Jahresmittel .	1,36	1,43	1,49	1,40	0,23	0,45	0,67	0,41	1,19	1,45	1,70	1,39	0,85	0,98	1,12	0,96	0,30	0,59	0,80	0,60

Ein Blick auf diese Tabelle genügt, um zu erkennen, daß die Bodenkrume an sämmtlichen Orten vom September bis Februar wärmer war als die äußere Luft; der Wärmeüberschuß betrug im Herbst durchschnittlich nahezu 2°, im Winter 2,5°. Wesentlich geringer sind die Differenzen im Sommerhalbjahr, zumal im Frühjahr, wo negative Abweichungen vorherrschend sind. Im März und April ist die Krume in der Regel um 0,5° bis 1,0° kälter als die äußere Luft; im Sommer findet sich nur in den oberen Bodenschichten bis zu 30 oder 40 cm Tiefe ein Wärmeüberschuß von 1 bis 1½°, während die unteren Schichten (von 60—90 cm) der äußeren Luft gegenüber um 1 bis 1½° kälter sind.

An den einzelnen Orten betrugen die Differenzen folgende Grade:

Orte.	Frühjahr.		Sommer.		Herbst.		Winter.		Jahresmittel.		Mittel.
	0—30	60—90	0—30	60—90	0—30	60—90	0—30	60—90	0—30	60—90	
	Centimeter Tiefe.										
Aschaffenburg	0,8	-0,4	1,2	-1,0	1,1	2,8	2,4	4,6	1,4	1,5	1,5
Rohrbrunn . .	-0,5	-1,1	0,2	-1,8	0,9	2,7	0,7	2,9	0,3	1,4	0,8
München . .	1,2	-0,1	1,9	0,6	1,0	3,3	0,8	3,0	1,2	3,4	2,3
Hirschhorn . .	-0,6	-1,9	1,0	-0,8	1,1	2,6	2,0	4,5	0,9	1,1	1,0
Falleck . . .	-0,6	-1,5	0,0	-1,3	0,8	2,6	1,1	3,8	0,3	0,9	0,6
Mittel	0,06	-1,0	0,8	-0,8	1,0	2,8	1,4	3,8	0,8	1,6	1,2

Die tiefer gelegenen Orte mit hoher Bodentemperatur im Sommer (Aschaffenburg und München) sind gegenüber den Gebirgsorten auch in dieser Beziehung etwas begünstigt.

Ueber den Einfluß der Meereshöhe auf die Temperaturextreme und auf die jährlichen Wärmeschwankungen im Boden

giebt nachstehende Tabelle Aufschluß.

Tab. VI. **Temperaturunterschied des kältesten und wärmsten Monats im Boden.**
Mittlere jährliche Amplitude.

Bodentiefen.	Aschaffenburg 136 m. Mittlere Temperat. des wärmsten Monats	Mittlere Temperat. des kältesten Monats	Mittl. jährl. Amplitude.	Eintrittszeit des wärmsten Monats	Eintrittszeit des kältesten Monats	Rohrbrunn 489 m. Mittlere Temperat. des wärmsten Monats	Mittlere Temperat. des kältesten Monats	Mittl. jährl. Amplitude.	Eintrittszeit des wärmsten Monats	Eintrittszeit des kältesten Monats	München 525 m. Mittlere Temperat. des wärmsten Monats	Mittlere Temperat. des kältesten Monats	Mittl. jährl. Amplitude.	Eintrittszeit des wärmsten Monats	Eintrittszeit des kältesten Monats	Hirschhorn 777 m. Mittlere Temperat. des wärmsten Monats	Mittlere Temperat. des kältesten Monats	Mittl. jährl. Amplitude.	Eintrittszeit des wärmsten Monats	Eintrittszeit des kältesten Monats	Falleck 1136 m. Mittlere Temperat. des wärmsten Monats	Mittlere Temperat. des kältesten Monats	Mittl. jährl. Amplitude.	Eintrittszeit des wärmsten Monats	Eintrittszeit des kältesten Monats
In der Oberfläche	20,22	1,35	18,87	Juli	Jan.	18,35	0,41	17,94	Juli	Jan.	19,94	-1,30	21,24	Juli	Jan.	16,11	-2,42	18,53	Juli	Jan.	14,78	-2,85	17,63	Juli	Jan.
15 cm	20,01	1,32	18,69	»	»	17,49	0,34	17,15	»	»	19,59	-0,75	20,34	»	»	15,60	-1,61	17,21	»		14,86	-2,08	16,94	»	»
30 »	18,95	2,10	16,85	»	Febr.	17,17	0,77	16,40	Aug.	Febr.	18,98	0,00	18,98	»	»	15,31	-0,61	15,92	»	Febr.	13,98	-1,11	15,09	»	»
60 »	17,85	2,85	15,00	Aug.	»	16,75	1,76	14,99	»	»	18,40	0,99	17,50	»	Febr.	14,20	0,51	13,69	»	»	13,27	0,62	12,65	»	Febr.
90 »	17,42	4,02	13,40	»	»	15,96	2,65	13,31	»	»	17,18	1,76	15,42	»	»	13,08	1,22	12,00	Aug.	»	12,49	1,61	10,88	Aug.	»
Mittel	18,89	2,33	**16,56**			17,14	1,19	**15,95**			18,82	0,14	**18,68**			14,86	-0,58	**15,44**			13,88	-0,76	**14,64**		

Aus dem eigenthümlichen Verhalten des Münchener Bodens, daß er im Juli sich nahezu ebenso stark erwärmt als der Aschaffenburger, in der kälteren Jahreszeit sich aber viel bedeutender abkühlt als dieser, erklärt es sich, warum er von der Oberfläche bis zu 90 cm Tiefe eine größere jährliche Temperaturschwankung zeigt als die Böden aller anderen Orte. Abgesehen von dieser lokalen Wirkung nimmt die jährliche Amplitude mit der Erhebung über die Meeresoberfläche langsam, aber regelmäßig ab. Während sie, für die gesammte Bodenkrume berechnet, in Aschaffenburg 16,6° beträgt, fällt sie in Rohrbrunn auf 15,9°, in Hirschhorn auf 15,4° und in Falleck auf 14,6°. Sie ist also hier um 2° geringer als am ersteren Orte.

Je höher man sich im Gebirge erhebt, um so geringer werden im Boden die Temperaturmaxima, um so größer dagegen die Minima. Die Abschwächung der ersteren ist aber eine viel stärkere als die Zunahme der letzteren. Dadurch erklärt sich die Abnahme der Temperaturschwankungen mit der vertikalen Erhebung.

Zu denselben Gesetzen gelangt man, wenn die absoluten Temperaturextreme, d. h. die höchsten und tiefsten in den einzelnen Bodenschichten beobachteten Temperaturen mit einander verglichen werden, wie es in nachstehender Tabelle geschehen ist.

Tab. VII.

Absolute Temperaturextreme im Boden.

Höchste jährliche Temperaturschwankungen im Boden.

Bodentiefen.	Aschaffenburg 10jähr. Mittel			Rohrbrunn 12jähr. Mittel			München 4jähr. Mittel			Hirschhorn 10jähr. Mittel			Falleck 5jähr. Mittel.		
	Absolutes			Absolutes			Absolutes			Absolutes			Absolutes		
	Maximum	Minimum	Amplitude	Maximum	Minimum	Amplitude	Maximum	Minimum	Amplitude	Maximum	Minimum	Amplitude	Maximum	Minimum	Amplitude
In der Oberfl.	27,7	-3,9	31,6	27,1	-3,3	30,4	32,2	-6,4	38,6	22,9	-7,7	30,6	20,9	-6,3	27,3
» 15 cm . .	26,2	-2,7	28,9	24,0	-2,0	26,0	27,8	-3,4	31,2	20,2	-4,8	25,0	18,9	-3,8	22,7
» 30 » . .	21,4	-0,1	21,5	20,0	-0,5	20,5	24,0	-1,8	25,8	19,2	-2,6	21,8	18,5	-2,5	21,0
» 60 » . .	19,6	1,5	18,1	18,1	0,6	17,5	20,9	0,4	20,5	16,5	0,2	16,3	14,9	0,4	14,5
» 90 » . .	18,2	3,3	14,9	15,9	2,1	13,8	19,0	1,4	17,6	14,6	0,8	13,8	13,0	1,6	11,3
Mittel . . .	22,6	-0,4	**23,0**	21,0	-0,6	**21,6**	24,8	-1,9	**26,7**	18,7	-2,8	**21,5**	17,2	-2,1	**19,3**

Die Tiefe, bis zu welcher der Boden im Winter gefriert, nimmt mit der Meereshöhe zu. Es ergiebt sich dies schon daraus, daß das absolute Minimum in 60 cm Tiefe im Mittel in Aschaffenburg 1,5°, in Rohrbrunn 0,6°, in München 0,4° und in Hirschhorn 0,2° betrug. In Aschaffenburg erreichte es in genannter Tiefe niemals den Gefrierpunkt, während an den höher gelegenen Orten der Boden in kalten Wintern bis auf 70 und 80 cm Tiefe gefroren war. Im großen Durchschnitt dringt aber bei uns der Winterfrost bloß bis zur Tiefe von 60 cm ein. Sandböden lassen die Winterkälte leichter und tiefer eindringen als Lehmböden; am Günstigsten verhalten sich in dieser Beziehung die Moorböden, welche selten über 50 cm Tiefe gefrieren.

Die Hauptergebnisse unserer Untersuchungen lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen:

1) Mit steigender Meereshöhe nimmt die Temperatur des Bodens sowohl im Jahresmittel als in den einzelnen Monaten und Jahreszeiten ab.

2) Die größte Abnahme macht sich im Mittelgebirge in Höhenlagen zwischen 600 und 800 m geltend.

3) Im Frühjahr und Sommer hat die Meereshöhe auf die Abschwächung der Bodentemperatur einen viel größeren Einfluß als im Winter.

4) Die Abnahme der Bodenwärme in vertikaler Richtung scheint schneller zu erfolgen als die der Luft.

5) Eine besonders beachtenswerthe Einwirkung auf die Bodenwärme hat die bayerische Hochebene. Im Jahresmittel und während des Winterhalbjahres ist die Bodentemperatur derselben normal und entspricht ihrer Höhenlage. Im Sommerhalbjahre, insbesondere vom Mai bis August macht sich aber die mit der vertikalen Erhebung allgemein zunehmende Intensität der Sonnenstrahlung auf der Hochebene weit stärker geltend als auf Bergkuppen und kleinen Plateaus von gleicher Höhe, wie z. B. in Rohrbrunn im Spessart. In Folge dessen ist für die Hochebene eine relativ starke Bodenerwärmung während des Sommerhalbjahres sehr charakteristisch. So erklärt sich, daß der Boden in München während der Vegetationszeit nahezu ebenso stark erwärmt wird als der 390 m tiefer liegende Boden in Aschaffenburg, während er im Winter seiner Lage entsprechend sogar kälter ist als der in Rohrbrunn im Spessart.

6) Die dünnere Luft in der Hochebene bedingt im Sommerhalbjahre neben der intensiven Insolation bei Tag auch eine stärkere Wärmeausstrahlung und Abkühlung bei Nacht. Deshalb ist der Boden in der Hochebene zu Früh- und Spätfrösten sehr geneigt, und es sind nicht nur die täglichen Temperaturschwankungen während der Vegetationszeit, sondern auch die jährlichen Oszillationen in ihm größer als an allen andern Orten. Abgesehen von dieser lokalen Wirkung der Hochebene nehmen die Wärmeschwankungen im Boden mit der Meereshöhe ab.

7) Die Tiefe, bis zu welcher der Boden im Winter gefriert, nimmt mit der Meereshöhe zu. In tieferen Lagen überschreitet sie selten 50—60 cm, in höheren Regionen kann sie 70—80 cm erreichen.

8) Im Winterhalbjahr ist der Boden in allen Höhenlagen wärmer als die äußere Luft; im Herbst beträgt die Differenz bis zu 90 cm Tiefe durchschnittlich nahezu 2°, im Winter 2,5°. Im März und April ist dagegen der Wurzelbodenraum in der Regel um 0,5° bis 1,0° kälter als die äußere Luft; im Sommer findet sich nur in den oberen Bodenschichten bis zu 30 oder 40 cm Tiefe ein Wärmeüberschuß von 1 bis $1^1/_2{}^0$, während die unteren Schichten (von 60—90 cm Tiefe) im Vergleich zur Luft um 1 bis $1^1/_2{}^0$ kälter sind. Die tiefer gelegenen Orte mit hoher Bodentemperatur im Sommer (Aschaffenburg und München) sind auch in dieser Beziehung den kälteren Gebirgsböden gegenüber etwas bevorzugt.

9) Jede Verminderung der Bodenwärme hat eine geringere chemische Thätigkeit desselben, eine Abnahme der osmotischen Arbeitsleistung der Wurzeln, eine mangelhaftere Ernährung der Pflanzen und eine geringere Produktionsfähigkeit des Bodens zur Folge.

Ueber die Beziehung zwischen Humusbildung und Kalkgehalt der Bodenarten.[1])

Von Dr. **Eug. W. Hilgard,**
Professor der Agrikulturchemie an der Universität von Kalifornien.

Bei der hohen Wichtigkeit des Humusgehaltes des Ackerbodens ist Alles, was auf dessen Bildungsweise und deren unterliegende Bedingungen Bezug hat, von besonderem Interesse. Es ist um so mehr zu bedauern, daß die noch immer gebräuchlichen Methoden der Humusbestimmung, durch Ausziehen mit alkalischer Lauge oder Verbrennung, wobei fast der Gesammtgehalt an organischen Theilen zur Wägung kommt, die wirkliche Sachlage so sehr zu verdüstern geeignet ist. Wer öfters mechanische Bodenanalysen ausführt und deren Produkte einigermaßen genau beobachtet, kann nicht umhin, die Wichtigkeit dieser Betrachtung zu erkennen; je nach Umständen zeigt sich, daß besonders bei der Verbrennungsmethode der Humusgehalt um fünfzig oder mehr Prozente zu hoch gefunden werden kann. Es bedarf wohl kaum der Erörterung, daß unhumifizirte Pflanzenüberreste weder chemisch noch physikalisch die Rolle des echten, kolloidalen Humus — der matière noire *Grandeau*'s — übernehmen können, außer etwa als Quelle der Kohlensäureentwickelung; und daß je nach den Witterungsverhältnissen, also je nach dem Klima, sowie nach Lage des Bodens und dessen Natur die endliche Humifizirung solcher Ueberreste einen ungewissen, unbestimmbaren Faktor bildet, dessen Anwendung zur Korrektion solcher Bauschbestimmungen einfach unmöglich ist. Es darf darum kaum befremden, daß bis jetzt über die speziellen Bedingungen der Humusbildung in verschiedenen Bodenarten

[1]) Theilweise unter dem Titel «Black Soils» erschienen in «Agricultural Science», Januar 1892.

und Klimaten nur ganz allgemeine, lose Angaben in den betreffenden Lehrbüchern zu finden sind.

Ich habe angesichts dieser Thatsachen längst die *Grandeau*'sche Methode der Humusbestimmung als die einzige betrachtet, die über den wirklichen Sachverhalt der Humusmenge, sowie deren Bildung im Ackerboden, brauchbare Aufschlüsse zu geben im Stande ist, und habe dieselbe bei allen meinen Untersuchungen amerikanischer Bodenarten ausschließlich zu Grunde gelegt. Es beziehen sich demnach alle im Folgenden besprochenen Thatsachen und Schlüsse auf Resultate dieser Bestimmungsmethode; die einzige bis jetzt bekannte, bei der die Verwechselung unhumifizirter Pflanzenreste mit aktivem Humus vollständig ausgeschlossen ist.

Es versteht sich, daß das berührte Studium der Humusbildung mit Vortheil nur da ausführbar ist, wo künstliche Zufuhr schon theilweise humifizirter Pflanzentheile, also besonders des Stalldüngers, ausgeschlossen ist; also in jungfräulichem oder doch ungedüngtem Lande. Solches Untersuchungsmaterial ist natürlich in Amerika viel leichter erreichbar als in Europa, und nur auf solches beziehen sich die nachfolgenden Betrachtungen.

Bei der vorjährigen Zusammenkunft des Internationalen Geologenkongresses in Washington hielt Herr Professor *Krasnoff*, von der Charkower Universität in Rußland, einen Vortrag über das Vorkommen, die Bildungsweise und die geologischen Beziehungen der russischen Schwarzerde (Tschernosem). Er bestätigte die schon öfters berührte Thatsache, daß die Schwarzerdenregion im Ganzen mit der dortigen Lößregion übereinstimmt, und kam zu dem Schluß, daß jene Erde wesentlich ihren Ursprung seichten Sümpfen, resp. Wiesenland, verdankt, welche den Lößseen bei deren allmählicher Drainirung nachfolgten, und von deren üppigem Pflanzenwuchs der starke Humusgehalt jenes Bodens abzuleiten ist wie auch dessen fast unerschöpfliche Fruchtbarkeit. Er bemerkte, daß er Amerika hauptsächlich um des vergleichenden Studiums der schwarzen «Prairieböden» willen besuche.

Bei der Besprechung dieses Vortrags lenkte ich die Aufmerksamkeit der Versammlung auf die von mir schon längst erörterte und ausführlich belegte Thatsache, daß die amerikanischen Prairieböden alle wesentlich stark kalkhaltig sind, in dem Sinne, daß sie im Ver-

gleich mit anliegendem Hügelland einen ungewöhnlich hohen Prozentgehalt an Kalkkarbonat zeigen. Dies ist so ganz allgemein der Fall, daß eine ungewöhnlich dunkle Färbung des Bodens überall im Mississippithale, sei es in der Kohlenkalkregion von Illinois, Jowa und Missouri, oder in den Kreide-, Tertiär- oder Quaternärzonen der Südweststaaten, mit Sicherheit als Zeichen unterliegender Kalkformationen entgegengenommen werden kann, und sogar volksthümlich als solches bekannt ist. Dabei ist es durchaus nicht nothwendig, daß der Boden — wie dies bei den eigentlichen ebenen, ursprünglich flache Seebetten bezeichnenden Prairien meistens der Fall ist — besonders schwer (thonig) sei. Nicht nur im Binnenlande, sondern auch an den sandigen Küsten des Golfes von Mexiko, sowie an der Bai von San Francisco, findet man jene intensiv schwarze, oft rußige Färbung des Bodens, auch als Resultat der langjährigen Einwirkung verwitternder Muschelschalen auf extremem Sandboden. Es giebt aber auch in den Vereinigten Staaten eine genaue Wiederholung der russischen Schwarzerde; nämlich im Lößgebiet des untern Mississippi, wo in den sogenannten Cane Hills[1]) der Urboden, wo derselbe nicht durch Erosion verschwemmt ist, dieselbe stark humose, mulmige Gartenerde darstellt wie das typische Tschernosem. Wie das letztere, so ist auch der Boden der Cane Hills in hohem Grade kalkhaltig, und äußerst fruchtbar; doch wegen des hügeligen Terrains in der Regel weniger tief, und als Untergrund vom Löß selbst unterlagert.

Zwar existiren selbstverständlich sehr viele an sogenanntem Humus reiche Böden, in denen es an Kalk sogar speziell mangelt; dies sind die Moor- und Torfböden der nördlichen Klimate, gebildet bei Gegenwart überschüssigen Wassers und bei beschränktem Luftzutritt, und charakterisirt durch «saure» Vegetation von Cyperaceen u. dgl. Aber solche Böden haben nicht die schwarze Farbe des Tschernosem oder des Prairiebodens, sondern die braune der Ulminverbindungen; und sie zeigen stets saure Reaktion, während die echten schwarzen Erden in kürzerer oder längerer Zeit basische Reaktion zeigen, sei es in Folge der langsamen Einwirkung von Kalk- oder Magnesiakarbonat, oder (in den ariden Regionen) von im Boden verbleibenden Alkalikarbonaten. Daß Kalk oder Mergel den

[1]) So genannt, weil deren ursprünglicher Pflanzenwuchs, neben kalkliebenden Waldbäumen, hauptsächich aus hohem Rohrgebüsch bestand, wie es sonst nur in den Flußniederungen wächst.

sauren Wuchs der Riedgräser durch Gramineen und Klee zu ersetzen erlaubt, und daß dabei in wenigen Jahren die bräunliche Farbe der schwarzen der Huminsubstanzen weicht, ist ja wohl bekannt, obgleich nur wenig erörtert, wo solche Erörterungen zu erwarten stünden.

Daß übrigens die hohe Fruchtbarkeit der schwarzen Erden nicht allein auf deren Humusgehalt beruht, bedarf kaum der Erwähnung. Abgesehen von der raschen Humifizirung und Salpeterbildung und der vortheilhaften Einwirkung auf den physischen Zustand des Ackerbodens, dient das Kalkkarbonat ja voraussichtlich im jungfräulichen sowohl wie in dem künstlich gemergelten Boden zur weiteren Aufschließung der Silikate und zur Bildung leicht löslicher, den Pflanzenwurzeln zugänglicher Zeolithe. Wo diese Einwirkung eine säkuläre gewesen ist, wie bei natürlichen Kalkböden, muß man erwarten, daß darin eine größere Menge nutzbarer mineralischer Pflanzennahrung gegenwärtig sein wird als in nichtkalkigen Bodenarten unter sonst gleichen Umständen. Die Erfahrung der amerikanischen Farmer in den Prairieländereien der Baumwollstaaten z. B. hat diese Voraussicht in schlagendster Weise bestätigt. Obgleich der Analyse gemäß in diesen Böden weder Kali noch Phosphorsäure in nambaft größerer Menge sich finden als in dem des anliegenden, kalkarmen Hügellandes, betrug die Dauer des einträglichen Raubbaues der Baumwolle im Prairielande vier- bis sechsmal mehr als in dem ersteren; sage z. B. 25, statt 5 bis 7 Jahre. Es ist also nicht ohne guten Grund, daß man dort volksthümlich sagt: «a limestone country is a rich country». Dies ist im Einzelnen so buchstäblich wahr (so lange das Land nicht etwa durch Raubbau ausgemergelt ist), daß man auch auf rascher Durchreise nicht leicht irre gehen kann, wenn man aus dem sichtlichen Wohlstand der Ansiedler auf hohen natürlichen Kalkgehalt des Bodens schließt. Daß diese hohe Bedeutung des natürlichen Kalkgehaltes nicht in Europa so klar in die Augen fällt, erklärt sich einfach aus der Thatsache, daß der ursprüngliche Zustand des Bodens längst verwischt und vergessen war, ehe die Wissenschaft ihre Aufmerksamkeit auf solche Dinge richtete. Und doch scheint es mir, als ob die Weltgeschichte auch hier bei näherer Vergleichung noch deutliche Belege derselben Art zu Tage fördern könne.

Es werfen diese Betrachtungen aber auch noch interessante Streiflichter auf die Geschichte der Landwirthschaft in den regenarmen (ariden)

Regionen, wo ja doch größtentheils die Entwickelung der Zivilisation stattgefunden hat. Warum waren die ariden Landstriche Asiens, und selbst Afrikas und Europas, vorzugsweise die Mittelpunkte jener Entwickelung — warum das jetzt öde Palästina das «gelobte Land»? Warum warf sich die Menschheit nicht zuerst auf die wasserreichen Regionen, wo scheinbar die Bedingungen einer angenehmen Existenz sich am leichtesten verwirklichen? Liegt doch selbst in dem alten Indien der geschichtliche Mittelpunkt in den regenarmen Landstrichen, wo nur künstliche Bewässerung die Bevölkerung vor dem Verhungern schützen kann!

Ich habe diesen Gegenstand u. A. des Weitern in einem kürzlich gedruckten Bericht an das Meteorologische Bureau in Washington («Ueber den Einfluß des Klimas auf die Bodenbildung») behandelt, und deute hier nur im Allgemeinen an, daß der thatsächliche Befund der Bodenuntersuchungen in den ariden Regionen Nordamerikas zu dem allgemeinen Schluß führt, daß unter solchen Verhältnissen eine ausnahmsweise Fruchtbarkeit und Dauerhaftigkeit des Bodens als Regel anzunehmen ist, daß demnach aride und deshalb der künstlichen Bewässerung bedürftige Länder, wenn die letztere Bedingung erfüllt wird, größerer Produktion und demnach der Ernährung größerer Bevölkerung auf gegebenem Areal fähig sind, als dies in regenreichen Strichen der gemäßigten Zonen geschehen kann. Hervorragend unter den Eigenthümlichkeiten der ariden Regionen ist der stetige Ueberschuß an Kalkkarbonat im Boden. Und wie oben bemerkt: «a limestone country is a rich country».

Man sollte nun denken, daß unter dieser Bedingung und bei der konstatirten Hinwirkung des Kalkkarbonates auf rasche Humifizirung die Böden der ariden Regionen besonders humusreich sein sollten. Daß dies aber nicht in auffallendem Maße so ist; daß im Gegentheil dunkle Bodenfärbung in den regenarmen Regionen im Ganzen seltener ist als in denen der Sommerregen, ist Reisenden ziemlich wohlbekannt. Auch die Analyse zeigt z. B. in den regenarmen Landstrichen von Californien, Washington und Montana einen niedrigen Humusgehalt in den dort vorwiegenden thonarmen, porösen Böden. Wo aber schwere, thonreiche Böden sich vorfinden, sind diese ebenso schwarz und reich an Humus als die Prairieböden der humiden Region. Es ist eben begreiflich, daß in sehr porösen Erden während des warmen, trockenen Sommers die wohl-

bekannte zerstörende Wirkung des Kalkes auf organische Substanzen sich geltend macht, so daß unter den oxydirenden Einflüssen (inkl. rascher Salpeterbildung, die sich sogar durch Auswitterung zu erkennen giebt) nur ein geringer Humusgehalt übrig bleiben kann.

Man könnte demnach im Allgemeinen die beobachtete Beziehung zwischen Humus- und Kalkgehalt in jungfräulichem Boden so ausdrücken: Das Kalkkarbonat befördert rasche Verwandlung der Pflanzenreste in schwarze Humussubstanz (matière noire). In regenreichen (humiden) Klimaten bewirkt starker Kalkgehalt des Bodens eine Anhäufung von Humus, viel bedeutender als unter sonst gleichen Umständen in kalkarmem Boden stattfindet. In regenarmen (ariden) Klimaten findet eine solche Anhäufung aber nur in thonreichen, bindigen Böden statt; in Sandböden befördert das Kalkkarbonat sowohl die langsame Verbrennung (Eremakausis) wie auch die Salpeterbildung (Nitrifikation) in so bedeutendem Maße, daß eine Anhäufung von Humussubstanz in der Regel nicht stattfindet, also auch die rußschwarze Färbung, welche natürlichen Kalkboden sonst kennzeichnet, nicht zu beobachten ist.

Es mag noch bemerkt werden, daß die *Grandeau*'sche Humuslösung (in verdünntem Ammoniakwasser) bei kalkreichen Bodenarten immer sehr dunkelfarbig ist, während kalkarme Böden häufig gelbbraune Lösungen liefern, die sich erst beim Abdampfen durch Oxydation schwärzen.

Neue Litteratur.

F. Braun und *K. Waitz*. **Beobachtungen über die Zunahme der Erdtemperatur,** angestellt im Bohrloch zu Sulz am Neckar. Jahreshefte d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württemberg. 1892. — Naturw. Rundschau. 1892. Nr. 13. S. 163.

Dem Berichte, welchen die Verff. über Messungen der Erdtemperatur erstatten, schicken sie eine Erörterung der Schwierigkeiten voraus, welche sich den genauen Temperaturmessungen in tiefen Bohrlöchern entgegenstellen, und erwähnen neben den schon von Anderen bei früheren Arbeiten erkannten und durch besondere Vorsichtsmaßregeln beseitigten noch die, daß die in den Bohrlöchern während der Temperaturmessungen sich befindenden Metallmassen wegen ihrer guten Wärmeleitung das Resultat wesentlich beeinflussen müssen. Ferner sind die Verff. der Meinung, daß es da, wo man nur die geothermische Tiefenstufe, d. h. die Zunahme der Erdwärme mit der Tiefe, messen will, nicht zweckmäßig sei, in möglichst vielen verschiedenen Tiefen Beobachtungen anzustellen; vielmehr empfehle es sich, bloß an einigen wenigen, aber weit auseinandergelegenen Punkten des Bohrloches zu beobachten und auf diese wenigen Bestimmungen alle Sorgfalt zu verwenden.

Die Aufgabe, die zu lösen war, verlangte die Erfüllung folgender Bedingungen: 1) Die Bohrung selbst mußte geraume Zeit vor den Temperaturmessungen vorgenommen sein. 2) Das Bohrloch durfte nicht sehr weit sein, damit die Wasserströmung in ihm durch Reibung möglichst gehindert wird. 3) Größere Metallmassen (Röhren-Gestänge) durften nicht bis zum Ort der Messung führen. 4) Man mußte endlich Instrumente benutzen, deren Fehler möglichst klein sind, und mit diesen in einigen genau bekannten Tiefen die Messungen anstellen.

Diese Bedingungen wurden nach Möglichkeit erfüllt in dem Bohrloch zu Sulz am Neckar (439 m Seehöhe), welches am 8. Juni 1888 begonnen und das bis zum 1. Febr. 1890 eine Tiefe von 901 m erreicht hatte. Die durchbohrten Schichten waren: Alluvium und Diluvium 5 m, mittlerer und unterer Muschelkalk 71 m, Bunter Sandstein und Todtliegendes 754 m, Kersantit und Gneiß 71 m. In 3,5 m Tiefe stellte sich Wasser ein, das aber zur Zeit der Temperaturmessungen etwa 120 m unter Tag stand. Verröhrungen befanden sich bis zu 574,8 m Tiefe im Bohrloch, von da ab war das Loch unverrohrt; die lichte Weite betrug von 452 bis 574,8 m Tiefe 108 mm, der tiefere Teil hatte einen Durchmesser von 75 mm. Die Temperaturen wurden mit dem *Magnus*'schen Ausfluß-Thermometer gemessen und zwar zwischen dem 2. und 21. Juni 1890; zur Zeit hatte das Bohrloch nur noch eine Tiefe von 881 m. Zwei Thermometer kamen zur Verwendung, bei dem einen entsprach ein Tropfen 0,2° C, bei dem anderen 0,46° C. Die Thermometer verweilten meist einige Tage an ihrem Orte. Die Messungen wurden viermal in der Tiefe von 710 m und zweimal in der Tiefe von 593 m ausgeführt.

Da zur Berechnung der geothermischen Tiefenstufe noch eine dritte Beobachtungsstelle sehr erwünscht gewesen wäre, wegen der Verrohrung des oberen Theiles aber nicht ausgeführt werden konnte, so nehmen die Verff. die mittlere Jahrestemperatur, welche aus 50jährigem Mittel für Sulz = 8,05° sich ergiebt, als konstante Temperatur der obersten Erdschicht, deren Tiefe sie auf 20 m voraussetzen. Sie hatten also in der Tiefe von 20 m die Temperatur 8,05°, in 593 m hatten sie 31,76° und in 710 m 36,66° gefunden. Hieraus berechnet sich die geothermische Tiefenstufe, d. h. die Tiefe, in welcher die Temperatur um 1° steigt, auf 24,08 m. Dieser Werth ist erheblich geringer als die in letzter Zeit in anderen tiefen Bohrlöchern gefundenen Größen. Es hatten nämlich die Messungen in Sperenberg bei Berlin (bei 1064,3 m Tiefe) 33 m, in Sennewitz bei Halle (1084 m Tiefe) 36,66 m und in Schladebach bei Merseburg (1716 m Tiefe) 36,87 m ergeben.

A. Bühler. **Untersuchungen über Sickerwassermengen.** Erste Mittheilung. Mittheilungen der schweizerischen Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen. Bd. I. Heft 2 u. 3. S. 291—322.

Bei Ausführung der Versuche wurde an einer etwas erhöht gelegenen Stelle des Versuchsgartens die Erde ausgehoben, so daß in zwei Reihen je 8 Holzkästen neben einander eingesetzt werden konnten.

Die Kästen hatten je eine Seitenlänge von 1,41 m; ihre Oberfläche ist also 2 qm groß. Ihre Tiefe beträgt 1,20 m auf der vorderen Seite; auf der hinteren dagegen nur ca. 1,15 m, da dem Boden des Kastens eine geringe Neigung gegeben werden mußte. Die Kästen sind aus 3 cm dicken, mittelst eines Falzes ineinandergefügten Brettern von Tannenholz hergestellt. Der untere Theil des Kastens ist mit Zinkblech ausgeschlagen.

Da die Kästen entsprechend dem Terrain eine kleine Neigung nach Westen haben, so wurde auf der westlichen Seite jedes Kastens eine Blechröhre eingelassen, welche das Sickerwasser in Blechgefäße von 18—20 l Inhalt leitet. Damit die Röhre sich nicht verstopft, ist im Kasten eine kleine Kiesschicht über ihr gelagert. Der Boden wurde im gewöhnlichen Feuchtigkeitszustande eingefüllt, aber nicht festgestampft. Die Erde wurde zunächst bis zum Rande des Kastens angefüllt und, nachdem sie sich gesetzt hatte, so ergänzt, daß der Rand des Kastens ca. 5 cm höher war, damit das Ueberlaufen des Wassers verhindert wird.

Zur Füllung wurden verwendet: 1) feiner Humusboden aus einem nahe gelegenen Torfmoore, 2) Kalkboden, ein thoniges, mit kleinen Kalksteinen durchsetztes Verwitterungsprodukt des Jura bei Baden, 3) feinkörniger Sandboden aus einem benachbarten Molassesandsteinbruch, 4) der im Garten vorhandene (lehmige) Thonboden mit feineren Steinen.

Je vier Beete wurden in den letzten Tagen des April 1890 mit 5jährigen Buchen und Fichten in dichtem Schlusse bepflanzt; vier weitere Beete wurden kahl belassen und vier mit einer Grasmischung angesäet, welche jedoch nur auf Thon und Kalk einen dichten Rasen erzeugte, auf Humus licht stand und auf Sand wiederholt ergänzt werden mußte. Diese nicht zu vermeidende Ungleichheit im Gedeihen des Rasens ist bei der Menge des Sickerwassers deutlich zu Tage getreten.

Hinsichtlich der Ergebnisse der Untersuchung mögen folgende Angaben hier eine Stelle finden.

1. Die absoluten Sickerwassermengen und ihr Verhältniß zu den Niederschlagsmengen. Aus dem vorliegenden Zahlenmaterial seien folgende Daten angeführt:

Sickerwassermenge nach hydrogaphischen Jahreszeiten.
Fläche 2 qm.

	Nieder-schlag. Liter.	Buchen.	Fichten.	Kahl.	Rasen.	Buchen.	Fichten.	Kahl.	Rasen.
		In Prozenten der Niederschlagsmenge.							
		Humus.				Kalk.			
Sommer 1890	1431,6	62	58	64	58	53	53	51	45
Wint. 1890/91	439,0	100	103	116	135	106	102	118	116
Sommer 1891	1637,2	37	39	62	37	51	55	48	37
Durchschnitt		55	55	70	58	58	60	58	50
		59				57			
		Sand.				Thon.			
Sommer 1890	1431,6	62	66	69	59	46	48	54	37
Wint. 1890/91	439,0	130	111	145	129	111	96	121	127
Sommer 1891	1637,0	64	65	66	55	42	39	55	19
Durchschnitt		71	71	77	66	52	50	63	40
		71				51			

Die Erscheinung, daß im Winter mehr Wasser absickerte, als durch die atmosphärischen Niederschläge zugeführt wurde, führt Verf. auf verschiedene Ursachen zurück. Erhebliche Niederschläge vom 16.—20. Oktober 1890 hatten den Boden derart durchfeuchtet, daß die anfangs des Winterhalbjahres (November) abgeführten Sickerwasser zum Theil aus jenen Niederschlägen herrühren mußten. Unter Einbeziehung der Niederschläge vom 16.—26. Okt. in das Winterhalbjahr vermindern sich die bezeichneten Differenzen, ohne jedoch zu verschwinden. Dieselben werden offenbar durch Verschiedenheiten in der Ansammlung des Schnees auf den einzelnen Beeten hervorgerufen und sind wahrscheinlich auch dadurch bedingt, daß die Angaben des Regenmessers mit kleiner Auffangfläche (0,05) zu niedrig ausfallen, und deshalb den auf die Beete gefallenen Wassermengen nicht ganz entsprechen.

Abgesehen von vorstehenden Verhältnissen ergeben die mitgetheilten Zahlen, daß im Durchschnitt der 18 Monate (Mai 1890 bis Oktober 1891) aus sämmtlichen Kästen ca. 60 % der Niederschlagsmenge in Form von Sickerwasser abfließen. Die Abhängigkeit der Sickerwassermenge von den Niederschlägen tritt nur in den Sommermonaten hervor, und zwar, wie die monatlichen, hier nicht aufgeführten Daten zeigen, in der Weise, daß während dieser Jahreszeit die Bewegung beider Mengen eine vollständig gleichförmige ist. Die Sickerwassermenge steigt und fällt mit der Niederschlagsmenge. Im Winter ist dies nicht der Fall, weil im gefrorenen Zustande des Bodens die unterirdische Wasserabfuhr sistirt ist und bei der Schneeschmelze aus vorangegangenen Perioden herstammende Wassermengen zur Absickerung gelangen.

2. Die Vertheilung der Sickerwassermengen auf die Jahreszeiten. Von der gesammten Niederschlagsmenge eines Jahres fallen 24 bezw. 21% auf die Wintermonate. Die in derselben Zeit durch den Boden sickernden Wassermengen betragen dagegen 32—50% der Sickerwassermenge des ganzen Jahres. Es sickert also von den Niederschlägen in den Wintermonaten verhältnißmäßig ein größerer Theil in den Boden ein als während der Sommerszeit. In diese letztere Zeit fallen nämlich 76 bezw. 79% der Niederschlagsmenge des ganzen Jahres, während die Sickerwassermenge selten 60% der Jahressumme überschreitet. Die absoluten Sickerwassermengen sind aber im Gebiete der vorherrschenden Sommerregen gleichwohl im Sommer größer als im Winter, so daß den Quellen und Bächen im Sommer mehr Wasser zugeführt wird, als dies in den Wintermonaten der Fall ist.

Im Hochgebirge setzt sich der Prozeß des Schneeschmelzens auch während der Sommermonate fort. Die Flüsse, welche vom Hochgebirge gespeist werden, haben daher im Sommer den höchsten Wasserstand. Zu dem Schmelzwasser aus den höheren Lagen kommt die reichlichere Zufuhr aus den Quellen und Bächen der niedriger gelegenen Gegenden hinzu. Erfolgen im Sommer heftige Niederschläge, so ist die Gefahr der Ueberschwemmung im Sommer eine größere als im Winter und Vorwinter.

3. Der Einfluß der Bodenart auf die Sickerwassermenge. Bildet man einen Durchschnitt aus den vier Beeten einer Bodenart, so wird natürlich in diesem die Wirkung der Vegetation auf den Wasservorrath im Boden sich bemerklich machen müssen. Die Vegetation zeigte allgemein auf dem Thonboden das üppigste Gedeihen. Ihr Einfluß tritt deshalb auf diesem Boden am meisten hervor.

Durchschnittliche Sickerwassermengen pro Beet in Litern:

	Humus.	Kalk.	Sand.	Thon.	Durchschnitt aller Bodenarten.
Durchschnitt pro Halbjahr:	692,6	662,7	835,8	598,4	697,4
			Verhältnißzahlen:		
	99	95	120	86	100.

Die meiste Sickerwassermenge lieferte der Sandboden. Geringer ist dieselbe bei dem Humus- und Kalkboden und am wenigsten sickerte durch im Thon.

4. Der Einfluß des Bodenzustandes auf die Sickerwassermenge. Die bezüglichen Ausführungen des Verf. können hier füglich übergangen werden, weil die Ergebnisse seiner Versuche nicht ohne Weiteres auf die natürlichen Verhältnisse übertragbar sind und zwar vor Allem, weil die Beobachtungen in einer Periode angestellt wurden, in welcher die Wurzeln der Pflanzen sich entweder gar nicht (wie im Sommer 1890) oder doch nur in beschränktem Maße im Boden ausgebreitet haben konnten. Aus diesem Grunde, sowie auch wegen des zum Theil mangelhaften Wuchses der Pflanzen auf einigen Bodenarten konnte der Einfluß der Vegetation auf die Sickerwassermengen sich nicht in vollem Umfange geltend machen. Im Uebrigen ergab sich, daß die Drainwassermengen von den kahlen Flächen größer waren als von den bepflanzten, unter welchen die Rasenfläche am meisten zu einer Verminderung der Sickerwasser beitrug.[1])

---

[1]) Vergl. diese Zeitschrift. Bd. X. 1887. S. 321, und Bd. XII. 1889. S. 147.

5. Der Einfluß der Dichtigkeit der Niederschläge auf die Sickerwassermenge. Verschiedene Erscheinungen deuten darauf hin, daß nach Perioden langer Trockenheit bedeutende Niederschlagsmengen nöthig sind, wenn das Wasser in die tieferen Schichten eindringen und in die Quellen gelangen soll.

Mit dem Feuchtigkeitsgehalte des Bodens steht die Schnelligkeit des Eindringens des Wassers in denselben in direktem Zusammenhang. Ist der Boden annähernd gesättigt, so schwellen die Sickerwassermengen schon nach 6 Stunden an, in der Regel ist das Abfließen nach 12 Stunden schon ein sehr starkes. Nach 1 bis 2 höchstens 3 Tagen ist der größte Theil des Wassers schon abgeflossen.

Die Sickerwasser zeigen während der Sommermonate und beim Schmelzen des Schnees ein rasches Ansteigen und Fallen. Sehr deutlich tritt dies hervor, wenn man die Niederschlags- und Sickerwassermengen der einzelnen Monate graphisch einander gegenüberstellt. Der Grad dieser Aenderungen selbst wird durch den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens bestimmt, insofern als der trockene Boden das Anschwellen der Sickerwassermengen verlangsamt, während im feuchten oder nassen Boden die Regenmengen sehr rasch in die Tiefe sinken.

Ergebnisse der Untersuchung:

1) Die Sickerwassermenge beträgt im Durchschnitt von 18 Monaten 60% der Niederschlagsmenge.

2) Die Sickerwassermenge steigt und fällt mit der Niederschlagsmenge im Sommer, während dieselbe im Winter vom Schmelzen des Schnees abhängig ist.

3) Die absolute Sickerwassermenge ist im Sommer größer, die relative dagegen kléiner als im Winter.

4) Das meiste Sickerwasser liefert der Sandboden; dann folgen Humus- und Kalkboden, endlich der (lehmige) Thonboden.

5) Der kahle Boden giebt mehr Sickerwasser ab als der mit Waldpflanzen bedeckte oder mit einem Rasen versehene Boden. Unter ersterem ist die Menge 11—12%, unter dem Rasen 20% geringer als unter kahlem Boden.

6) Ein hoher Grad der Austrocknung des Bodens verringert nicht nur die Menge, sondern auch die Schnelligkeit des Durchfließens der Sickerwasser. *E. W.*

•

P. P. Dehérain. **Studien über die Drainwasser.** Dritte Mittheilung.[1]) Vegetationslose Böden. Annales agronomiques. T. XVIII. Nr. 6. p. 273—299.

Die Schlußfolgerungen aus seinen Versuchen mit vegetationslosem Boden formulirt Verf. in vorliegendem dritten Bericht über seine Studien der Drainwasser wie folgt:

1) Wir finden, daß das Verhältniß zwischen Regen und Drainage auf nackten Böden während des Winters ein fast übereinstimmendes, im Herbst ein annäherndes ist, daß es aber im Frühling und besonders im Sommer auseinandergeht. Während des Jahres (März 1891 bis März 1892) beträgt die Sickerwassermenge ein wenig mehr als die Hälfte der Niederschlagsmenge.

2) Das Verhältniß des Regens zur Drainage wechselt sehr bei den verschiedenen Erden. Während Böden, die vortheilhaft drainirt sind, das Wasser mit Leichtigkeit filtriren, halten andere, welche mehr die Trockenheit als die Nässe vertragen, dasselbe bequem zurück, aber die ersteren ruhen auf einem

[1]) Vergl. diese Zeitschrift. Bd. XIII. 1890. S. 402, und Bd. XIV. 1891. S. 277.

impermeabeln Untergrund, die anderen auf sehr durchlässiger Kreide, woraus geschlossen werden muß, daß die Natur des Untergrundes noch mehr als die Zusammensetzung des Bodens selbst für den unterirdischen Wasserabfluß maßgebend ist.

3) Der Stalldünger übt keinen wahrnehmbaren Einfluß auf die Sickerwassermenge aus.

4) Böden, welche sich unter identischen Bedingungen der Temperatur und Feuchtigkeit befinden, haben in den Sickerwassern Mengen von Salpeterstickstoff verloren, welche beinahe vom Einfachen zum Doppelten variiren.

5) Eine Erde, welche in dem Jahre, wo dieselbe der Untersuchung unterzogen wurde, eine große Menge von Salpeterstickstoff durch die Drainwasser verloren hatte, gab davon in dem folgenden Jahre eine viel geringere Menge ab; während Erden, in welchen die Nitrifikation im ersten Jahre langsam verlief, im zweiten Jahre ebenso große oder höhere Mengen ergaben als jene, welche zuerst beraubt wurden. Hieraus ist zu schließen, daß die Böden, welche die nitrifizirbarsten stickstoffhaltigen Stoffe enthalten, jene sind, welche am schnellsten erschöpft werden.

6) Während des Jahres 1891/92 haben die Drainwasser im Mittel 31,7 gr Salpeterstickstoff per cbm enthalten, aber diese Menge hat sich in gut gedüngter Erde auf 51,7 gr erheben, andererseits auf 17,6 gr heruntergehen können.

7) Wenn man eine größere Dosis von Stalldünger über die Erden vertheilte, so fand man immer ein Ansteigen des Salpeterstickstoffs in den Drainwässern, aber diese Zunahme war ungleichmäßig, woraus hervorgeht, daß die Natur der nitrifizirbaren Stoffe keinen entscheidenden Einfluß auf die durch die Drainage entzogene Stickstoffmenge ausübt.

In einem Jahre wurde ein Viertel bis ein Siebentel des im Stalldünger enthaltenen Stickstoffs durch die Drainwasser des nackten Landes abgeführt.

8) Die Drainwasser der nicht gedüngten Böden enthalten nicht zu allen Jahreszeiten die gleichen Mengen von Salpeterstickstoff. Im Herbst ist der Verlust am bedeutendsten, er ist geringer im Frühling. Die Menge des nitrifizirten Stickstoffs während dieser Periode übersteigt indessen jene während des Sommers und Winters.

9) Der Reichthum an Nitraten in den Drainwassern des Herbstes beläuft sich im Mittel der drei Jahre 1889—90, 1890—91 und 1891—92 auf 40,6 kg, entsprechend 250 kg Chilisalpeter. Hieraus ergiebt sich die Nützlichkeit der Zwischenkulturen im Herbst.

10) Die Menge der Nitrate in den Drainwassern des Frühlings beträgt für die drei Versuchsjahre in den ungedüngten Böden nur 17,03 kg Salpeterstickstoff. Hieraus folgt die Nützlichkeit der Anwendung des Chilisalpeters im Frühling.

11) In den gedüngten Böden enthalten die Drainwasser im Frühling die größten Nitratmengen. Diese beträchtliche Produktion von Nitraten, welche der Aufbringung des Düngers folgt, beruht augenscheinlich auf der leichten Umwandelung des Ammoniakstickstoffs.

12) Während des Jahres 1891—92 wurden von 100 Theilen Stickstoff im Dünger bei den verschiedenen Böden 10 Theile im Frühling, 3 im Sommer, 5 im Herbst und 2 im Winter nitrifizirt, demnach im Ganzen 20 Theile oder $^1/_5$ des Stickstoffs im Dünger.

13) Es sind besonders die ersten Regen im Herbst, welche die am meisten mit Nitraten versehenen Drainwasser hervorrufen; in dieser Zeit enthalten sie im Mittel 79 gr Nitratstickstoff pro cbm; in den gedüngten Böden kann sich diese Menge auf 130 gr erheben; im Winter sind die Wasser am ärmsten, denn sie enthalten in den Monaten Dezember und Januar nur 10 gr pro cbm.

In einer weiteren Mittheilung gedenkt Verf. die Resultate seiner Versuche über die Drainwasser der kultivirten Böden mitzutheilen. *E. W.*

***P. Fülles.* Bakteriologische Untersuchung des Bodens in der Umgebung von Freiburg i. Br.** Zeitschrift f. Hygiene. Bd. X. 1891. S. 225 bis 252.

Zur Bodenentnahme behufs der bakteriologischen Untersuchung wurden vier Stellen in der Umgebung Freiburg's ausgesucht, welche ungefähr den vier Himmelsrichtungen entsprechend vom Zentrum der Stadt gelegen sind. Um einen möglichst gründlichen Einblick auch in die durch verschiedene Kulturart bedingten bakteriologischen Verschiedenheiten des Versuchsgebietes zu erlangen, wurden überdies die Stellen derart gewählt, daß sowohl Waldboden und Ackerkrume, als Weinberg und Wiesenerde in Rücksicht gezogen wurden, und zwar wurden die Proben im Norden von einem bebauten Acker genommen, dessen Krume in einer Mächtigkeit von ca. 50 cm unmittelbar auf einer festen Kiesschicht aufruht. Der Boden im Osten besteht an der Oberfläche aus steiniger Weinbergserde. Die Entnahmestelle des zur Untersuchung gekommenen Waldbodens befindet sich im Süden der Stadt. Die oberste bräunlich-gelbe Humusschicht ist 60 cm mächtig, dann folgt Gneis. Nur an einzelnen moorigen und wasserreichen Stellen gelang es, bis zu einem Meter einzudringen. Im Westen der Stadt wurden sowohl die oberflächlichen Proben als jene bis zu 1 m Tiefe von einem nahe an der Dreisam gelegenen Wiesenlande entnommen. Da man mit dem *Fränkel*'schen Bohrer unter vorliegenden Verhältnissen nicht bis zu einer Tiefe von 2 m eindringen konnte, so wurden derartig tiefe Proben aus Ausschachtungen entnommen, welche bei einer Kanalisationsarbeit gegenwärtig ausgehoben werden. Aus diesen in das Gebiet der regelmäßigen Untersuchungen fallenden Proben wurde vergleichsweise noch der Boden vom Roßkopf (739 m) und vom Schauinsland (1286 m) einer Prüfung unterzogen.

Bei der bakteriologischen Untersuchung wurde $^1/_2$ ccm der Erdprobe unter den erforderlichen Vorsichtsmaßregeln mit etwas sterilisirtem Wasser in einem Mörser verrieben und dann in 1 l sterilisirtes Wasser gebracht. Diese Mischung blieb unter häufigem Umschütteln bei einer Temperatur von 0° eine halbe Stunde stehen, worauf aus der durchschüttelten Aufschwemmung 1 ccm herausgenommen und in 10% peptonhaltige Nährgelatine gebracht wurde, welche Mischung dann auf Platten ausgegossen wurde. Die Platten kamen hierauf in eine feucht gehaltene Glaskapsel bei 18--20° C. Nach einigen Tagen wurden die ausgewachsenen Kolonieen gezählt. Die Hauptsache hierbei bestand darin, den richtigen Zeitpunkt für die Zählung und Abimpfung der Kolonieen zu treffen, da sonst durch die vielen verflüssigenden Keime eine Zählung unmöglich gewesen wäre. Auch zur Isolirung und Reinkultur bediente sich Verf. des *Koch*'schen Plattenverfahrens. Zur Feststellung der im Erdboden vorkommenden anaëroben Spaltpilze wurden theilweise

die von *Fränkel* empfohlenen Reagenzgläser mit Gasdurchleitungsrohr benutzt, zum Theil auch die mit Kohlensäure unter einer Glasglocke gefüllt in Kammern befindlichen Platten. So konnten im Ganzen 48 verschiedene Arten von Spaltpilzen aus den Versuchsböden isolirt werden, nebst einigen Hefe- und Schimmelpilzen. Unter diesen 48 Arten befinden sich zwei, welche nicht bestimmt werden konnten.

Die gefundenen Arten waren folgende:

I. Mikrokokken. a. Gelatine nicht verflüssigend: 1. Micrococcus aurantiacus *(Cohn)*. 2. M. candidus *(Cohn)*. 3. M. luteus *(Cohn)*. 4. M. candicans *(Flügge)*. 5. M. versicolor *(Flügge)*. 6. M. cinnabareus *(Flügge)*. 7. M. cereus albus *(Passet)*. 8. M. fervitosus *(Adametz-Wichner)*. 9. Rother Coccus *(Maschek)*. b. Gelatine verflüssigend: 10. M. flavus liquefaciens *(Flügge)*. 11. M. flavus desidens *(Flügge)*. 12. Diplococcus luteus *(Adametz)*. 13. Sarcina lutea.

II. Bazillen. a. Gelatine nicht verflüssigend. a. Nicht pathogen. 1. Bacillus fluorescens putidus *(Flügge)*. 2. B. muscoïdes *(Liborius)*. 3. B. scissus *(Frankland)*. 4. B. candicans. 5. B. diffusus *(Frankland)*. 6. B. filiformis *(Tils)*. 7. B. luteus *(Flügge)*. 8. Fluorescirender Wasserbacillus *(Ehrenberg)*. 9. B. viridis pallescens *(Frick)*. 10. Blaugrün fluorescirendes Bacterium *(Adametz)*. 11. B. stolonatus *(Adametz-Wichmann)*. 12. Bacterium Zürnianum *(List)*. 13. B. aërogenes *(Miller)*. b. Gelatine verflüssigend. a. Nicht pathogen. 14. Bacillus ramosus liquefaciens *(Flügge)*. 15. B. liquidus *(Frankland)*. 16. Wurzelbacillus. 17. B. subtilis *(Ehrenberg)*. 18. B. mesentericus fuscus *(Flügge)*. 19. B. mesentericus vulgatus *(Flügge)*. 20. B. fluorescens liquefaciens *(Flügge)*. 21. Bacillus ramosus *(Frankland)*. 22. Citronengelber Bacillus *(Frankland)*. 23. Grüngelber Bacillus *(Eisenberg)*. 24. Gasbildender Bacillus *(Eisenberg)*. 25. Grauer Bacillus *(Maschek)*. 26. Bacillus prodigiosus *(Ehrenberg)*. 27. Proteus mirabilis *(Hauser)*. 28. Proteus vulgaris *(Hauser)*. 29. Kartoffelbacillus. 30. Bacillus cuticularis *(Tils)*. 31. Weißer Bacillus *(Eisenberg)*. b. Pathogen. 32. B. oedematis maligni *(Koch)*. Außerdem zwei noch nicht beschriebene Arten (Bacillus Nr. 1 u. 2), Gelatine nicht verflüssigend.

Im Laufe der fortgesetzten Untersuchungen hat sich ergeben, daß die Mehrzahl der gefundenen Bakterien den Bazillen angehört; es wurden deren im Ganzen 34 gefunden; weniger zahlreich waren die Kokken vertreten, deren Anzahl 13 beträgt, und zwar fanden sich dieselben in den oberflächlichen Schichten und kamen in den verschiedenen Tiefen nur selten vor.

Hinsichtlich der Häufigkeit stellten sich folgende Verhältnisse heraus. Sehr häufig, fast in jeder Bodenprobe, fanden sich in folgender Skala, der Häufigkeit ihres Auftretens nach geordnet: Bazillen Nr. 16, 17, 6, 20, 1, 7. Microc. 3. Bac. 28. Mikrok. 4, 2, 12. Bac. 29, 24, 10, 31, 4, — so daß in der angegebenen Reihenfolge Bac. 16 am meisten und unter die weniger häufig vorkommenden der Baz. 4 gehörte. Seltener, d. h. nicht auf jeder Platte, kommen vor: Mikr. 10, 5, 1, 6, 7. Bac. 18, 19, 3, 5, 27, 2, 14, 8, 22, 11, 23, 12, 25, 9, 13. Nur vereinzelt, d. h. die überhaupt während des ganzen über ein Jahr ausgedehnten Verlaufes der Untersuchung in wenigen Exemplaren angetroffen wurden, fanden sich: Mikr. 9, 11, 13. Bac. 21, 26, 30.

Bei dem Vergleich der verschiedenen oberflächlichen Bodenproben unter einander ergab sich im Durchschnitt folgendes Resultat: Die Proben der Wiesen- und Walderde lieferten das bunteste Gemenge von Bakterien, regelmäßiger gestalteten sich die von der Weinberg- und Ackererde. Ein merklicher Unterschied der Bakterienart in den Erdproben aus den verschiedenen Tiefen war nicht zu erkennen.

Bei den in regelmäßiger Zeitfolge fortgesetzten Untersuchungen zeigt sich die auffallende Thatsache, daß gewisse Arten plötzlich in ganz ungewöhnlichen Mengen auftreten und wiederum ebenso rasch verschwinden, um entweder durch das gewöhnliche ziemlich gleichmäßige Bakteriengemisch ersetzt zu werden oder aber durch eine wiederum stark vorherrschende Spaltpilzart.

In 1 m Tiefe waren noch die Schimmelpilze manchmal in großer Menge vertreten, bei natürlich gewachsenem und nicht aufgewühltem Boden. Hefezellen fanden sich äußerst selten; so die Rosahefe[1]), diese aber auffallender Weise noch in 1—2 m Tiefe. Die Bodenproben, welche aus großer Höhe (Roßkopf, Schauinsland) entnommen und untersucht wurden, zeigten in ihrem Verhalten eine bedeutend größere Regelmäßigkeit als die Proben aus Kulturland. Es kam in diesen Höhen fast ausschließlich nur der B. subtilis und der Wurzelbacillus vor, so daß es fast den Eindruck machte, als habe man zwei Reinkulturen absichtlich gemischt und zur Plattenkultur ausgegossen.

Was die Anzahl der in den verschiedenen Proben enthaltenen Keime betrifft, so ergab sich, daß gegenüber der großen in der Oberfläche enthaltenen Spaltpilzmenge dieselbe schon in 1 m Tiefe bedeutend abnimmt und zwar ist diese Abnahme keine allmähliche, sondern eine plötzliche. Meistens in 1 m Tiefe kann sich die Zahl der Bakterien mit einem Schlage um das Hundertfache verringern. Es zeigt sich ferner, daß die Mengen der Spaltpilze in den oberflächlichen Schichten der verschiedenen Erdproben nicht die gleichen sind, je nach der Bebauungs- und Kulturart. Die wenigsten Keime wies der Waldboden auf, im Durchschnitt ungefähr 660000 pro ccm; dann folgt die vom Weinberg stammende Probe mit durchschnittlich 1050000; bedeutend größer war der Keimgehalt im Wiesengrund mit 1400000 und am meisten enthielt der Ackerboden, nämlich 1500000 im ccm. Der größte gefundene Keimgehalt beträgt 6000000 und unter 70000 sank die Zahl überhaupt nicht herab. In 1 m Tiefe nahm die Zahl bedeutend ab. In der angegebenen Reihenfolge, Waldboden, Weinbergerde, Wiesengrund und Ackerboden, fanden sich in 1 ccm im Durchschnitt 128000, 46000, 134000 und 330000 Keime. Da die Untersuchungen in größeren Tiefen nicht in der Regelmäßigkeit angestellt werden konnten, lassen sich hierbei keine vergleichbaren Resultate aufstellen. In den untersuchten Proben betrug die Durchschnittszahl in einer Tiefe von 2 m 17000. Ein keimfreier Boden konnte nur einmal konstatirt werden. Natürlich wiesen die Proben aus aufgeschüttetem Terrain einen bedeutend größeren Keimgehalt auf; so fanden sich bei 2 m Tiefe in 1 ccm ungefähr 160000 Keime. Die Proben von den hoch gelegenen Punkten enthielten auch weniger Keime, als die meisten der übrigen Untersuchungen ergeben haben. Während die Anzahl bei dem 739 m hoch gelegenen Roßkopf 200000 im ccm

[1]) Saccharomyces glutinis.

betrug, waren in der von dem 1286 m hohen Schauinsland entnommenen Probe nur 100000 Spaltpilze im ccm enthalten.

Faßt man die Resultate der vorliegenden Bodenuntersuchungen zusammen, so ergiebt sich:

1) Der Keimgehalt des Bodens nimmt, wie dies schon früher bewiesen war, nach der Tiefe hin rapid ab, bis bei etwa 2 m Tiefe unter gewöhnlichen Verhältnissen im gewachsenen Boden völlige Keimfreiheit eintritt.

2) Die meisten der gefundenen Spaltpilze gehören den Bazillenarten an; an der Oberfläche namentlich kommen auch Kokken vor, welche auch noch in großer Tiefe, jedoch sehr vereinzelt angetroffen werden.

3) Zu den bereits beschriebenen Organismen konnten zwei neue Arten im Laufe der Untersuchung hinzugefügt werden.

4) Bei Kulturboden ist der Spaltpilzgehalt je nach der Bebauungsart ein verschiedener. Ein sichtlicher unmittelbarer Einfluß der Temperatur resp. Jahreszeit auf die Quantität der Bodenbakterien war nicht nachzuweisen. *E. W.*

S. *Winogradsky.* Beiträge zur Morphologie der Nitrifikations-Organismen. Archives de sciences biologiques publiées par l'Institut impérial de médicine expérimentale à St. Pétersbourg. 1892. T. I. Nr. 1 u. 2. p. 86 bis 137. Mit 4 Tafeln.

Der vorliegende Bericht bildet die Fortsetzung[1]) der Untersuchungen des Verf. über die nitrifizirenden Organismen, welche in den letzten beiden Jahren in den Annales de l'Institut *Pasteur* veröffentlicht wurden. Diese früheren Mittheilungen beschäftigten sich fast ausschließlich mit der chemischen und physiologischen Seite des Prozesses, die Morphologie der Mikroben war nur nebenbei behandelt worden. Es schien nun dem Verf. angezeigt, auch in letzterer Beziehung die bis dahin gewonnenen Kenntnisse über einen Vorgang von der Wichtigkeit der Nitrifikation zu vervollständigen.

In Bezug auf die Details der interessanten Untersuchungen, besonders der Versuchsmethoden des Verf. muß hier, der Kürze des Raumes wegen, auf die Originalabhandlung verwiesen werden. Hier sollen nur einige der wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich der Morphologie der Mikroorganismen der Nitrifikation angeführt werden.

Verf. beschäftigt sich in vorliegender Abhandlung mit jenen Mikroben, welche das Ammoniak in salpetrige Säure verwandeln. Die Beschreibung, welche *Warington*[2]) von denselben giebt, ist nach den Ausführungen des Verf. nicht richtig, weil die Kulturen in Medien gezüchtet wurden, welche die Beimischung fremder Organismen nicht ausschließen. Nach den Erfahrungen des Verf. ist die erste Bedingung für das Isoliren der nitrifizirenden Organismen die Anwendung rein mineralischer Nährböden; als solche hatten sich ihm am besten bewährt Lösungen von Kieselerde oder Kieselerde-Gallerte, denen neben Ammoniak die mineralischen Nährsalze beigegeben sind.

In Erde aus Zürich hat Verf. von den isolirten Salpetrigsäure-Organismen zwei Formen unterscheiden können, eine Monaden- und eine Zoogloeaform. Die

---

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XIV. 1891. S. 33 u. 422.

[2]) Diese Zeitschrift. Bd. XIV. 1891. S. 419.

erstere besteht aus runden, lebhaft sich bewegenden, mit einer kurzen Geißel versehenen Gebilden, welche die Flüssigkeit trüben und nur auftreten, wenn die Lösung reichlich Ammoniak enthält. Die zweite bildet am Boden der klaren Flüssigkeit ruhende, kugelförmige, durch gallertartige Substanz zusammengehaltene flockige Massen, welche ein nicht minder charakteristisches Aussehen darbieten. Auch auf festem Nährboden konnten diese beiden Formen gewonnen werden.

Aus verschiedenen Gegenden Europas, Asiens und Afrikas bezogene Erdproben ergaben bei ähnlicher Behandlung gleichfalls Monaden- und Zoogloeaformen des Salpetrigsäure-Organismus, die in beiden Gestaltungsformen mit den in Zürich gefundenen größte Aehnlichkeit hatten. Nur die Monaden aus Java besaßen längere Geißeln, dabei war aber ihre Beweglichkeit eine geringere als bei den europäischen, speziell den Züricher Monaden. Erdproben aus Südamerika und Australien schienen salpetrige Organismen ganz anderer Art zu enthalten; die Beobachtungen konnten jedoch aus Mangel an Material nicht zu Ende geführt werden. Nur aus Erde, die von Quito stammte, konnte Verf. die salpetrigen Organismen darstellen, welche stets viel größer waren als die bisher beschriebenen Monaden, sich nicht färbten, eine ziemlich dicke, gelatinöse Membran besaßen und deren Beweglichkeit nicht hat festgestellt werden können; Verf. bezeichnet dieselben daher als Megalokokken. Erde aus Melbourne und aus Brasilien gab gleichfalls den Megalococcus.

Sehr wesentlich verschieden von den bisher erwähnten in der Abhandlung eingehend beschriebenen und in photographischen Abbildungen dargestellten Mikroorganismen sind die Salpetersäure bildenden Organismen, von denen vorläufig nur eine Abbildung der Abhandlung beigegeben ist. Sie bestehen ausschließlich aus kleinen Stäbchen.

Hinsichtlich der Benennung der in Rede stehenden Organismen schlägt Verf. vor, «Nitrobakterien» die ganze Gruppe von Mikroben zu nennen, welche das Ammoniak in Salpeter umwandeln. Die salpetrigen Fermente der alten Welt würden die Gattung «Nitrosomonas» bilden, mit den beiden Spezies «Nitrosomonas europaeus» und «Nitrosomonas javanensis»; die salpetrigen Mikroben der neuen Welt die Gattung Nitrosococcus bilden. Das Salpetersäureferment würde den Namen «Nitrobakter» tragen.

***E. Giltay* und *J. H. Aberson*. Denitrifizirende Organismen im Boden.** Archives Néerlandaises. 1891. T. XXV. p. 341. — Naturw. Rundschau. 1892. Nr. 15. S. 196.

Von verschiedenen Seiten ist darauf hingewiesen worden, daß im Boden neben den in der letzten Zeit vorzugsweise untersuchten nitrifizirenden Organismen auch denitrifizirende vorkommen, deren Reingewinnung zwar mit großen Schwierigkeiten verknüpft sei, aber mit Eifer angestrebt zu werden verdiene. Denn die Beobachtungen, daß Nitrate unter bestimmten Bedingungen zu Nitriten, Ammoniak und Stickstoff reduzirt werden, sind nicht selten. *Gayon* und *Dupetit* haben vor längerer Zeit zwei Mikroorganismen, Bacterium denitrificans α und β, beschrieben, welche diese Zersetzung der Nitrate bewirken sollten. Die Verff. veröffentlichen nun eine diesbezügliche Untersuchung, welche sie zu dem Ergebniß geführt, daß zu Wageningen im Herbst 1889 und 1890 sowohl im Boden wie im

Wasser und in der Luft eine Bakterie sehr verbreitet gewesen, welche im Stande ist, die Nitrate vollständig zu reduziren. Ihre Reindarstellung gelingt leicht, wenn man Gelatine oder Bouillon mit einer bestimmten Nährflüssigkeit, welche 2 gr Kaliumnitrat, 1 gr Asparagin, 2 gr Magnesiumsulfat, 5 gr Citronensäure, 2 gr Kaliummonophosphat, 0,2 gr Chlorcalcium und einigen Tropfen Eisenchlorid pro Liter enthält und durch Kali neutralisirt ist, der Luft exponirt oder mit Erdauszug versetzt. Ueber die Konstanz des Vorkommens und die Verbreitung dieses Bakteriums müssen weitere Untersuchungen Aufschluß geben.

E. Bréal. **Ueber das Vorkommen eines aëroben denitrifizirenden Fermentes im Stroh.** Annales agronomiques. T. XVIII. Nr. 4. p. 181—195.

Verf. gelangt durch seine Untersuchungen zu folgenden Schlüssen:

Die Nitrate, welche mit wenigen Ausnahmen in allen Wässern vorkommen, befinden sich auch an der Oberfläche der meisten festen Substanzen, welche mit diesen Wässern benetzt sind. Die Strohsorten besitzen selbst Nitrate an ihrer Oberfläche, aber wenn man sie feucht hält, so verschwinden die Nitrate, und wenn man ihnen neue Mengen solcher Salze zuführt, so fahren sie fort, die Salpetersäure zu zersetzen.

Pflanzenerde, welche mit Wasser, das mit Stroh in Berührung war, durchfeuchtet wurde, kann die ursprünglich vorhandene Salpetersäure vollständig verlieren.

Das Stroh, in welchem die Salpetersäure verschwindet, bereichert sich mit organischem Stickstoff, aber gleichzeitig kehrt ein beträchtlicher Theil des Stickstoffs der Nitrate in Form gasförmigen Stickstoffs in Atmosphäre zurück.

Diese Zersetzung der Salpetersäure wird durch ein, auf dem Stroh vorkommendes Ferment bewirkt, welches aber ebenso in dem Wasser sich befindet, mit welchem das Stroh befeuchtet wird. Dasjenige des Strohes wirkt indessen am kräftigsten.

Operirt man mit geschlossenen Gefäßen, welche Stroh, mit Lösungen von Salpeter durchfeuchtet, enthalten, und mit Luft erfüllt sind, so beobachtet man, daß der Sauerstoff verschwindet, welcher zum Theil durch Kohlensäure ersetzt wird; aber gleichzeitig entwickelt sich in dem Maße, als der Sauerstoff verschwindet, Stickstoff, und wenn man den Versuch genügend ausdehnt, so sieht man allen Sauerstoff verschwinden und man findet eine beträchtliche Vermehrung des Volumens des Stickstoffs, welches sich ursprünglich in dem Gefäß vorfand.

Wenn man, anstatt das Gefäß mit Luft zu füllen, nach und nach Sauerstoff in dasselbe einführt, so erhält man dasselbe Resultat, ein Beweis dafür, daß das betreffende Ferment zu den aëroben gehört.

Diese Eigenschaft, den Stickstoff der Salpetersäure in Freiheit zu setzen, kommt nicht allein dem Stroh zu; Heu von Luzerne, Maisölkuchen und ohne Zweifel eine große Zahl vegetabilischer Substanzen besitzen dieselbe auch. Dagegen gelingt es nicht, mit der «matière noire» des Stalldüngers die Salpetersäure zu zersetzen.

Das mit einer Salpeterlösung übergossene und vor dem Luftzutritt geschützte Stroh hat eine sehr energische Zersetzung der Salpetersäure gezeigt und ein sehr bedeutendes Volumen von Stickstoff entwickelt.

Wenn man aber das Stroh statt mit einer Salpeterlösung mit nitratfreiem Wasser durchnäßte, so entwickelte sich an Stelle des verschwindenden Sauerstoffs kein Stickstoff, sondern nur Kohlensäure.

Das denitrifizirende Ferment findet in bearbeiteten Böden keine günstigen Bedingungen seiner Entwickelung; diese Erden sind im Allgemeinen nicht feucht genug, damit die in denselben vorkommenden Pflanzenreste sich mit Wasser imbibiren könnten, aber in den kompakten Böden der Wiesen und Wälder kommt Wasser und eine Menge organischer Substanzen vor; dort kann es sich entwickeln. Dies sind die Böden, in denen *Boussingault* vor mehr als 40 Jahren die Abwesenheit der Salpetersäure nachgewiesen hat. *E. W.*

E. Chuard. **Ueber das Vorkommen von Nitrifikations-Erscheinungen in Medien, die reich an organischen Substanzen und von saurer Reaktion sind.** Comptes rendus. 1892. T. CXIV. p. 181. — Naturw. Rundschau. 1892. Nr. 17. S. 216.

In dem oberen Theile der Tiefmoore, auf der eigentlichen Torfschicht, findet sich stets eine mehr oder weniger dicke Schicht lockerer, leichter Substanz von brauner oder schwärzlicher Farbe, die von Wasser stark durchtränkt ist und Torferde genannt wird. In der Absicht, dieses Produkt für die Agrikultur zu verwerthen, hat Verf. einige Proben desselben von verschiedener Herkunft untersucht und fand, daß dieselben einen zwischen 1,25 und 1,66 % wechselnden Gehalt an Stickstoff aufwiesen und im Ganzen aus 33—50 % organischen Stoffen, 20—30 % Mineralsubstanzen und aus Wasser bestanden.

Im frischen Zustande enthält die Torferde nur organischen oder Ammoniak-Stickstoff; läßt man sie an der Luft liegen, so tritt Nitrifikation ein und der Salpeterstickstoff nimmt stetig an Menge zu, obwohl die Bedingungen für eine Nitrifikation sehr ungünstige sind, da nach den bisherigen Erfahrungen für diesen Prozeß eine neutrale oder schwach alkalische Reaktion des Mediums und die Anwesenheit einer leicht salzbildenden Base unerläßlich schien, während die Torferde eine entschieden sauere Reaktion besitzt und Karbonate fast ganz fehlen, während organische Substanzen reichlich anwesend sind. Die geringe Menge Kalk, die man hier findet (8,32 % der Asche), ist fast ganz mit den organischen Säuren des Humus und nicht mit Kohlensäure verbunden; und ein Zusatz von Alkali oder Erdalkali-Karbonaten hatte gerade die entgegengesetzte Wirkung, die Nitrifikation wurde vermindert. Zusatz von schwefelsaurem Kalk gab keine besseren Resultate. Es scheint hiernach, daß hier eine ganz besondere Art der Nitrifikation vorliege, deren Ursache noch näher erforscht werden muß.

P. Pichard. **Einfluß des Thon- und Humusgehaltes des Bodens im nackten Zustande auf die Bindung des atmosphärischen Stickstoffs, auf die Konservirung des Stickstoffs und auf die Nitrifikation.** Ann. agron. T. XVIII. Nr. 3. p. 108—119. — Comptes rendus. T. CXIV. 81—84.

Verf. operirte mit Gemischen von reinem Quarzsand und Thon, welchen in einigen Versuchen verschiedene Mengen von stickstoffhaltigen organischen Stoffen in Form von Baumwollsamenkuchen zugefügt waren.

Die reinen mineralischen Gemische, welche anfangs keine Spur von Stickstoff besaßen, enthielten nach 7 Monaten davon 0,07—0,2 gr pro kg. Die fixirte Stickstoffmenge stieg mit dem Thongehalt des Gemisches. Bei Zusatz von Gyps zum Sandthongemisch wurde die Menge des fixirten Stickstoffs erhöht, wahrscheinlich, weil dadurch einem Verlust an Ammoniak vorgebeugt wird. Der bezeichnete Einfluß des Thones auf die Fixirung des Stickstoffs macht sich auch bemerkbar bei Zuführung von organischen Stoffen zum Sandthongemisch. Treten die letzteren in Mengen von 2—3 gr pro kg auf, so macht sich der Einfluß des Thones nur bezüglich der Konservirung des Stickstoffs geltend. In diesem Falle findet kein Gewinn statt.

Der Einfluß des Thongehaltes in den Grenzen zwischen 10 und 40 % auf die Nitrifikation ist nicht sehr deutlich; bei gleicher Menge organischen Stickstoffs vermindert oder erhöht er die Produktion von Salpetersäure. Die Thonmenge scheint günstig in dieser Beziehung zu wirken bei einem Gehalt von 1 gr an organischem Stickstoff.

Die Vermehrung des organischen Stickstoffs von 1 auf 3 gr pro kg ist entschieden für die Nitrifikation ungünstig. Beruht diese Erscheinung auf der ungenügenden Thätigkeit der die organische Substanz zerstörenden Mikroben oder dem beschränkten Zeitraum? Man bemerkt in der That, daß die Menge des restirenden organischen Stickstoffs in Erden von 2—3 gr viel höher ist als in solchen von 1 gr Stickstoff pro kg. An Ammoniak wird prozentisch zum vorhandenen Stickstoff ebensoviel in Erden mit 1 gr, wie in solchen mit 2 und 3 gr organischem Stickstoff produzirt. Die absolute Menge des produzirten Ammoniaks ist daher in letzteren größer als in ersteren. Hieraus wird geschlossen werden müssen, daß das kohlensaure Ammoniak keine günstigen Bedingungen zu seiner Umwandelung in Salpetersäure gefunden hat, sei es, daß es wegen seiner Menge ein alkalisches Mittel bildet, obwohl die vorhandene Menge des schwefelsauren Kalkes genügend ist, dasselbe in schwefelsaures Ammoniak zu verwandeln, sei es, daß der Kalk ungenügend ist, oder daß der atmosphärische Sauerstoff nur schwierig in den thonreichen Boden einzudringen vermag.

In Bezug auf die aus diesen Untersuchungen für die Praxis zu ziehenden Schlußfolgerungen äußert sich Verf. dahin, daß es behufs energischer Nitrifikation des organischen Stickstoffs bei der Kompostbereitung zweckmäßig sei, den Stickstoffgehalt des Gemisches so zu reguliren, daß letzterer nur 1 gr pro kg der Masse betrage. Der Thon könne in reinem Zustande oder in Form von Mergel bis zu 30 % beigegeben werden. Der Gyps sei in einer Menge von ½ % (5 gr pro kg) zuzufügen. Damit seien die günstigsten Bedingungen der Nitrifikation hergestellt. Diese künstliche Erzeugung von Salpeterstickstoff ist übrigens begrenzt und erstreckt sich nach Verlauf von sechs Monaten unter den günstigsten Bedingungen nur auf 50 % des organischen Stickstoffs (½ gr pro kg).

Will man sich bei der Kompostbereitung nur auf die Produktion von Ammoniak beschränken, so muß man die Menge von organischem Stickstoff auf 2—3 gr pro kg bringen und später vielleicht der Masse 10—40 % Mergel und ½ % Gyps beifügen. Unter solchen Verhältnissen wird die Nitrifikation gering oder gleich Null, dagegen die Bildung von Ammoniak sehr gefördert sein, mit unvermeidlichen, aber durch die Gegenwart von Thon und Gyps beschränkten

Verlusten. Wird der auf diese Weise hergestellte Kompost ausgebreitet und mit dem Boden gemischt, so nitrifizirt das Ammoniak, welches er enthält, schnell genug.

In den Pflanzenerden ist die Menge des organischen Stickstoffs selten größer als 1 gr per kg. Es kommen jedoch Steppenböden mit 3—6 gr und mehr organischem Stickstoff in Form von Humus oder unveränderten organischen Stoffen vor. Der Stickstoff in dieser Form ist gegenüber kleinen Mengen von Kalk und den Zersetzungs-Mikroben sehr resistent, was seine Anhäufung beweist. Die Produktion von Ammoniak ist gering, noch geringer die der Salpetersäure, wodurch sich die arme Vegetation solcher Ländereien erklärt. Auch auf solchen Böden, wo man nicht eine Unterbrechung der Nitrifikation durch Produktion eines ammoniakreichen Mittels zu fürchten hat, wird es nützlich sein, die Kalkgaben zu erhöhen und selbst gelöschten Kalk anzuwenden, im Gemisch mit Gyps. *E. W.*

***P. Pichard.* Nitrifikation des Humus und der nicht zersetzten organischen Substanzen und der Einfluß der Stickstoffmenge des Humus auf die Nitrifikation.** Ann. agron. T. XVIII. Nr. 7. p. 337—351. — Comptes rendus. T. CXIV. 490—493.

Der Humus ist gegen die Zersetzungs-Mikroben und gegen Kalk viel widerstandsfähiger als organische Dünger. Die Erzeugung von kohlensaurem Ammoniak ist bei jenem sehr langsam, aber die Nitrifikation vollzieht sich nach Maßgabe der Einwirkung der Kalksalze[1]), besonders des Karbonates, so daß also die durch Verflüchtigung entstehenden Verluste vermindert werden. Bei den unveränderten organischen Substanzen ist die Bildung des Ammoniumkarbonates schnell und reichlich und der Verlust kann bei Gegenwart von Kalk sehr bedeutend werden. Die Nitrifikation verläuft viel langsamer als die Ammoniakbildung. Aus diesem Grunde hatte der Gyps, das Ammoniak in schwefelsaures Salz verwandelnd, bei den Oelkuchen eine größere Wirkung ausgeübt als bei dem Humus.

Der gegypste Humus behält lange Zeit eine sauere Reaktion, welche die Nitrifikation verhindert, eine Erscheinung, welche bei gleichzeitiger Anwendung von Kalk verschwindet. Es tritt außerdem eine schnelle Desoxydation des Kalksulfates im Humus ein, die Bildung von Schwefelcalcium und selbst von Schwefelwasserstoff, welche beide der Nitrifikation ungünstig sind. Die Wirkung des Gypses allein ist hauptsächlich in wenig feuchten und gut durchlüfteten Böden vortheilhaft, in welchen die Desoxydation des Kalksulfates in kurzer Frist durch eine Reoxydation des Schwefelcalciums gefolgt sein kann.

Die relativen Mengen nitrifizirten Stickstoffs in den zwei verwendeten Pflanzenerden, welche durch Mischung mit Sand auf gleichen Stickstoffgehalt am Anfang der Versuche gebracht wurden, sind genau gleich, eine Thatsache, welche für eine gewisse Konstanz in der Zusammensetzung des Humus spricht, welches auch der Reichthum an Stickstoff sei.

In den mit 3 bis 5 gr Stickstoff versehenen Pflanzenerden, welche nicht mit Sand gemischt wurden, haben die in gleichen Mengen angewendeten nitrifizirenden Agentien Wirkungen in derselben Weise wie in Mischungen mit 1 gr Stickstoff ausgeübt. Die absoluten Salpeterstickstoffmengen nehmen mit dem Gehalt an

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. VII. 1884. S. 339, und Bd. XIII. 1890. S. 84.

dem ursprünglich vorkommenden Stickstoff zu, aber die relativen Mengen (in Prozenten des letzteren) nehmen ab.

In einer früher veröffentlichten Arbeit (siehe oben) hat Verf. dargethan, daß der Einfluß des Stickstoffgehaltes auf die Nitrifikation der nicht zersetzten organischen Substanzen in derselben Weise in die Erscheinung tritt und daß die Abnahme des Gewinns an Salpeterstickstoff bei diesen noch viel schneller vor sich geht, in Folge der großen Mengen des entstandenen kohlensauren Ammoniaks, durch welches die Nitrifikation beeinträchtigt wird. Im vorliegenden Falle ist die Ursache der Abnahme eine andere, angesichts der großen Langsamkeit in der Bildung des Ammoniaks. Es ist anzunehmen, daß der Ueberfluß des Humus die oxydirende Wirkung der durch die Masse streichenden Luft, was die Nitrifikation betrifft, herabsetzt und daß man, um dasselbe Verhältniß in den nitrifizirten Stickstoffmengen zu erhalten, die Gaben von den nitrifizirenden Agentien erhöhen und die Durchlüftung erhöhen muß, im Verhältniß zu dem Gehalt an organischem Stickstoff.

Trotz der langsamen Nitrifikation des Humus würde die Produktion der Nitrate in den sandigen, an Humus reichen und sehr kalkarmen Böden für die Vegetation ausreichend sein, wenn nicht ein großer Theil derselben ausgewaschen würde.

Rechnet man das Gewicht der Pflanzenerde zu 200 kg per qm, so würde die Menge des gebildeten Salpeterstickstoffs, in 8 Monaten, für die auf 1 gr Stickstoff durch Sandmischung verdünnten Böden 70—80 gr pro ha betragen. In den natürlichen Erden mit 3—5 gr Stickstoff (pro kg) würde der Gewinn an Salpeterstickstoff 92—158 kg sein. Ein sandiger Boden mit 1 gr Stickstoff, in Form von Oelkuchen zugeführt, würde 336 kg Salpeterstickstoff liefern.

Die Zuführung von Kalk ($^2/_{100}$) und besonders von Kalk mit Gyps ($^1/_4$) verdreifacht ungefähr den Gewinn an Nitratstickstoff. Gleichzeitig wird der durch Verflüchtigung von Ammoniak entstehende Verlust vermindert. Je reicher die Erde an Humus ist, um so größere Kalkmengen kann man geben. Die Verarmung eines an Humusstickstoff reichen Bodens, bei Zufuhr von Kalk und Gyps, wird langsam vor sich gehen, vornehmlich, wenn die Erde etwas thonhaltig ist, weil unter solchen Verhältnissen die doppelte Wirkung des Thones und Gypses auf die Zurückhaltung des Ammoniaks und Fixirung des atmosphärischen Stickstoffs zum großen Theil die durch eine zu rasche Nitrifikation bedingten Verluste kompensiren wird. Im Mittel genügen 500 kg Gyps pro ha. *E. W.*

***H. Immendorff.* Beiträge zur Lösung der Stickstofffrage.** Landw. Jahrbücher. Von *H. Thiel.* Bd. XXI. 1892. S. 281—339.

Auf Grund seiner umfangreichen Untersuchungen glaubt sich Verf. zur Aufstellung folgender Schlußfolgerungen berechtigt:

1) Bei der Verwesung stickstoffhaltiger Substanzen kann, unabhängig von der Salpeterbildung, ein Verlust an freiem Stickstoff eintreten, während dieser Prozeß bei der Fäulniß unter Luftabschluß oder beschränktem Luftzutritt nicht stattfindet.[1])

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XII. 1889. S. 255.

2) Es ist noch nicht erwiesen, ob bei der Nitrifikation des Ammoniaks, wenn dieselbe bei reichlicher Ventilation verläuft, Stickstoffverluste durch Auftreten freien Stickstoffs stattfinden können.

3) Eine Vermehrung des gebundenen Stickstoffs durch Fixirung des Elementes findet nicht nur, wie *Berthelot* angiebt, in stickstoffarmen Böden statt, sondern kann auch in Materialien verlaufen, welche an Stickstoffverbindungen reich sind. Mit Sicherheit können wir noch nicht Verhältnisse schaffen, um den Prozeß eintreten zu lassen.

4) Die Superphosphate sind ganz vortreffliche Mittel zur Konservirung des Stalldüngers. Es entstehen, wenn dieselben in ausreichender Menge zur Verwendung kommen, auch beim Zutritt der Luft, weder Verluste durch Verflüchtigung von Ammoniak, noch durch Freiwerden von Stickstoff.

5) Superphosphatgyps ist ein nicht so gutes Mittel für die Dünger-Konservirung wie die Superphosphate; seine ammoniakbindende Kraft ist weit geringer, jedoch werden auch durch Superphosphatgyps Stickstoffverluste durch Freiwerden desselben verhütet.

6) Gyps und Kainit stehen hinter den genannten Konservirungsmitteln an Werth bedeutend zurück. Wenngleich ihre Fähigkeit, Ammoniak zu binden, besonders in feuchten gährenden Substanzen nicht unbedeutend ist, so sind doch bei Zutritt der Luft Stickstoffverluste zu befürchten.

7) Ackerboden im nicht sterilisirten Zustande zeigte nach einem Verwesungsprozeß die Fähigkeit, Wasserstoff mit Sauerstoff zu vereinigen. Höchst wahrscheinlich sind Bakterien die Verursacher dieses Vorganges.

8) Mit Sicherheit ist bis heute noch keine Bakterienart rein gezüchtet worden, der man unbedingt die Fähigkeit zuschreiben muß, den freien Stickstoff der Atmosphäre binden zu können; wenngleich es sicher verbürgte Thatsache ist, daß die Leguminosen durch Beihilfe gewisser bekannter Bakterien im Stande sind, den freien Stickstoff zu ihrem Nutzen zu verwenden. *E. W.*

B. Frank. **Die Assimilation freien Stickstoffs bei den Pflanzen in ihrer Abhängigkeit von Spezies, von Ernährungsverhältnissen und von Bodenarten.** Landw. Jahrbücher. Von *H. Thiel.* Bd. XXI. 1892. S. 1—44.

Die wichtigsten, aus vorstehenden Untersuchungen abzuleitenden Ergebnisse faßt Verf. wie folgt zusammen:

Erstens ist festgestellt, daß allen Pflanzen, Leguminosen wie Nichtleguminosen der freie Luftstickstoff zur Ernährung nutzbar gemacht werden kann, oder mit anderen Worten, daß ein mehr oder weniger großer Theil des in den Ernten enthaltenen Stickstoffs von den Pflanzen aus der Luft aufgenommen worden ist.

Dessenungeachtet können wir den gebundenen Stickstoff im Ackerboden für den Pflanzenbau im Ganzen nicht entbehren, jedoch in sehr ungleichem Grade bei den einzelnen Kulturpflanzen.

Um auf den leichtesten, stickstoffärmsten Bodenarten den Höchstertrag an Erntestickstoff zu gewinnen, ohne dem Boden eine Stickstoffdüngung zu geben, giebt es, soweit die bisherigen Forschungen ein Urtheil erlauben, nur eine Leguminose, die gelbe Lupine, welche auf stickstofffreiem und stickstoffarmem Boden lediglich mit Hilfe ihres Symbiosepilzes die höchsten, nämlich höhere Stickstoff-

ernten liefert, als wenn ihr gleichzeitig eine Stickstoffdüngung gegeben worden ist, welche bei dieser Pflanze abstumpfend auf die Kraft, freien Stickstoff zu erwerben, zurückwirkt und daher als direkte Verschwendung anzusehen ist.

Dagegen liefert die Erbse — und wahrscheinlich verhalten sich viele andere Leguminosen ebenso — auf stickstofffreiem Boden im Vereine mit dem Symbiosepilz den Höchstertrag an Erntestickstoff erst dann, wenn sie zugleich durch gebundenen Stickstoff, besonders in Form von salpetersauren Salzen, ernährt wird, obwohl auch diese Pflanze bei Ausschluß aller Stickstoffverbindungen entwickelungsfähig ist, wiewohl eben mit geringem Erfolge. Das Quantum des zu diesem Zwecke erforderlichen gebundenen Stickstoffs dürfte jedoch, wie die vorliegenden Versuche anzudeuten scheinen, geringer sein, als man nach gewöhnlicher Auffassung für nöthig hält.

Auf guten, d. h. humus- und stickstoffreicheren Böden ist die gelbe Lupine überhaupt nicht am Platze, indem sie hier auch im Symbiosezustande weniger Stickstoff aus der Luft assimilirt und geringere Stickstoffernten liefert als auf stickstoffarmem Boden.

Dagegen erzielen die Erbse, der Rothklee und wahrscheinlich viele andere noch nicht hierauf geprüfte Leguminosen auf diesen Bodenarten einen größeren Erfolg bezüglich der Erwerbung von Stickstoff aus der Luft als auf den leichten stickstoffarmen Böden, auch wenn die letzteren mit Kalk, Kali und Phosphat in genügender Weise gedüngt sind, was also wiederum mit dem Vorrath an Stickstoffverbindungen in den besseren Böden zusammenhängen muß, welche, wie die obigen Versuche zeigten, schon ohne daß ihnen noch eine besondere Stickstoffdüngung gegeben zu werden brauchte, auf die Pflanzenentwickelung kräftig wirkten. Es muß hiernach fraglich erscheinen, ob auf den besseren Böden eine Stickstoffdüngung zu den genannten Leguminosen überall nothwendig ist; die Wirkungen des Stalldungs auf Erbse und dergl. auf den besseren Böden können wohl auch zum Theil auf dem Gehalt des Dungs an Kali u. s. w. beruhen und also auch durch künstliche Düngemittel erwartet werden.

Die den Boden an Stickstoff bereichernde Wirkung der Leguminosen, welche auf dem Zurückbleiben der stickstoffreichen Wurzelreste im Boden beruht, findet nicht bloß auf den stickstoffarmen, sondern auch auf den besseren und humusreichen Böden statt.

Die Nichtleguminosen dagegen verbessern durch ihre Ernterückstände gegenüber dem Quantum von gebundenem Stickstoff, den sie dem Boden entziehen, den letzteren nur wenig. Aber auch sie entlehnen einen Theil ihres Stickstoffbedarfes aus der Luft, und der Effekt dieser Stickstoffsammlung tritt hervor, wenn wir den von den Pflanzen gesammelten Stickstoff nicht als Ernte vom Boden wegnehmen, sondern die gesammte Pflanzenmasse demselben einverleiben. In dieser Beziehung treten als Gründüngungspflanzen auch Nichtleguminosen den Leguminosen als bodenbereichernde an die Seite. Der Fähigkeitsgrad der verschiedenen Nichtleguminosen in dieser Beziehung nach Spezies bleibt noch näher zu ergründen. Aber dieselben werden zu dieser Stickstofferwerbung aus der Luft um so befähigter, je mehr sie durch Anbau auf guten für sie geeigneten Bodenarten, beziehentlich durch eine Gabe von gebundenem Stickstoff in ihrer ersten Lebensperiode zu einem kräftigen Entwickelungszustand gebracht werden.

Die Ergebnisse für die Pflanzenphysiologie dürften besonders in folgenden Punkten bestehen. Die Hypothese *Hellriegel's* [1]), daß im Pflanzenreiche eine Ueberführung des elementaren Stickstoffs in Stickstoffverbindungen einzig durch den Symbiosepilz der Leguminosen geschehe, hat sich nicht bestätigt. Die Assimilation des freien Stickstoffs ist eine über das ganze Pflanzenreich und unter den verschiedensten Pflanzenformen verbreitete Lebenserscheinung.

Bei den höheren Pflanzen ist sie allgemein an diejenige Bedingung geknüpft, die ja auch bei anderen Ernährungsthätigkeiten sich geltend macht, daß die Pflanze den schwächlichen Jugendzustand überwunden und sich in ihren vegetativen Organen, besonders in ihrem Blattapparat, gekräftigt hat. Je mehr dies geschieht, desto energischer kommt die Kraft, elementaren Stickstoff zu assimiliren, zum Ausdruck.

Nichtleguminosen und Leguminosen stimmen ferner auch darin überein, daß die in ihrem Samen als Reservestoffe vorhandenen Stickstoffverbindungen nicht ausreichen, um die Keimpflanzen bis zu demjenigen Erstarkungszustande zu bringen, wo die Stickstoffassimilation in ausgiebiger Weise erfolgen kann, und daß also die Pflanze, wenn nicht anderweitig für ihr Stickstoffbedürfniß in dieser Periode gesorgt wird, in einen Zustand des Stickstoffhungers verfällt, welcher sich dadurch bemerklich macht, daß das Wachsen verlangsamt wird, die Blätter kümmerlicher und chlorophyllärmer gebildet werden und die älteren Blätter von den unteren Theilen des Stengels beginnend allmählich wieder absterben, weil ihnen die plastischen Stoffe zu Gunsten der jüngeren Organe wieder entzogen werden.

Nichtleguminosen wie Leguminosen stimmen weiter darin überein, daß dieser Stickstoffhunger des heranwachsenden Pflänzchens vermieden oder überwunden wird, wenn eine für die Ernährung geeignete Stickstoffverbindung zur Verfügung steht, d. h. wenn entweder die Pflanze auf einem nicht zu stickstoffarmen Boden wächst oder wenn ihr auf andere Weise eine geeignete Stickstoffverbindung geboten wird.

Die Stickstoffverbindungen sind also die eigentliche Jugendnahrung der Pflanzen bezüglich des Stickstoffes. Für manche Pflanzen (die eigentlichen Salpeterpflanzen) haben sie wohl noch eine ausgedehntere Bedeutung; wie groß aber das wahre Bedürfniß der einzelnen Pflanzenarten in dieser Beziehung ist, bleibt noch festzustellen. Die Beobachtungen, daß gewisse Pflanzen mit steigenden Gaben an gebundenem Stickstoff steigende Erträge liefern, beweisen in dieser Frage nichts, da die Pflanzen aus der Luft Stickstoff aufnehmen und da es bis jetzt nicht bekannt ist, wieviel von dem gegebenen gebundenen Stickstoff thatsächlich von der Pflanze verwerthet worden ist und wieviel davon im Boden zurückgeblieben und dort durch chemische Prozesse zerstört worden und verloren gegangen ist.

Für die Nichtleguminosen ist die Gegenwart von Stickstoffverbindungen im Boden das einzige Mittel, welches den gleichen Erfolg erzielt: die Symbiose mit einem bestimmten Spaltpilz, dem Rhizobium Leguminosarum. Durch dieses Mittel wird die Leguminose befähigt, auch ohne Vorhandensein gebundenen Stickstoffes im Boden die Jugendperiode zu überwinden, indem ihr dadurch schon in dieser Zeit der elementare Stickstoff nutzbar gemacht wird. Durch die Pilz-

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XII. 1889. S. 99.

symbiose wird also die Leguminose vom gebundenen Stickstoff überhaupt unabhängig gemacht.

Wenn auch die Leguminosen durch die Pilzsymbiose befähigt sind, allein aus elementarem Stickstoff der Luft ihren ganzen Stickstoffbedarf zu decken, so wirkt auf sie doch auch der gebundene Stickstoff, wie er in den besseren Böden gegeben ist oder durch eine entsprechende Düngung geboten wird, vortheilhaft, indem durch die vereinte Wirkung von Symbiose und Stickstoffverbindungen die Fähigkeit der Pflanze, freien Stickstoff zu assimiliren, ihr Maximum erreicht. Dieses ist durch die vorstehenden Untersuchungen wenigstens für die Erbse und den Rothklee nachgewiesen worden und wird wahrscheinlich für die meisten Leguminosen zutreffen. Als einzige bis jetzt bekannte Ausnahme hiervon ist die gelbe Lupine zu betrachten, bei welcher durch die Gegenwart von Stickstoffverbindungen die Fähigkeit der symbiotischen Pflanzen, freien Stickstoff zu assimiliren, eine Abschwächung erleidet, so daß also für diese Leguminose der elementare Stickstoff gerade als die beste Stickstoffnahrung zu gelten hat.

Wie bei den Nichtleguminosen die Assimilation des freien Stickstoffes überhaupt ohne Pilzhilfe erfolgt, so ist bei den Leguminosen hierzu der Pilz auch keine nothwendige Bedingung, denn diese Pflanzen erlangen ebenso wie die Nichtleguminosen, sobald als sie durch Stickstoffverbindungen ihre genügende Jugendernährung bekommen haben, die Fähigkeit der Stickstoffassimilation auch bei vollständigem Ausschlusse der Pilzsymbiose. Dieses gilt von allen bisher vom Verf. daraufhin geprüften Leguminosen, die gelbe Lupine nicht ausgenommen. Allerdings hat begreiflicherweise die gleichzeitige Mitwirkung der Symbiose noch größeren Erfolg ergeben.

Ob überhaupt in dem Rhizobium selbst eine Kraft der Stickstoffassimilation liegt, ist nicht bewiesen, sogar unwahrscheinlicher geworden durch die Beobachtung, daß dieser Pilz bei seiner Entwickelung außerhalb der Pflanze für sich allein eine Assimilation von freiem Stickstoff nur äußerst träge, jedenfalls nicht stärker als andere bis jetzt darauf geprüfte Pilze wahrnehmen läßt. Es ist daher noch immer die Hypothese die wahrscheinlichere, daß die Wirkung dieser Pilzsymbiose mehr in der Leguminose selbst liegt, d. h. daß durch den Eintritt des Pilzes in den Organismus der Pflanze ein Reiz auf die letztere ausgeübt wird, durch welche die schlummernden Assimilationskräfte derselben geweckt und aktivirt werden. Näher auf den physiologischen Charakter der Pilzsymbiose wird Verf. bei einer anderen Gelegenheit eingehen. *E. W.*

A. Schmidt. **Theoretische Verwerthung der Königsberger Bodentemperatur-Beobachtungen.** Gekrönte Preisschrift. Schriften der physikal.-ökonom. Gesellschaft zu Königsberg i. P. XXXII. Jahrgang. S. 97—168.

M. Whitney. **Soil Investigations.** Extracted from the fourth annual report of the Maryland agricultural experiment station.

M. Whitney. **Some physical properties of soils in their relation to moisture and crop distribution.** U. S. Department of agriculture. Weather Bureau. Bull. Nr. 4. Washington. 1892.

E. W. Hilgard. **The sampling of soils for analysis.** Agricultural Science. 1892. S. 263—268.

E. W. Hilgard. **The dermination of clay in soils.** Agricultural Science. 1892. S. 156—160.

E. W. Hilgard. **Alkalilands, irrigation and drainage in their mutual relations.** Appendix to the report of work of the experiment stations of the university of California. Sacramento. 1892.

R. Warington. **On nitrification.** U. S. Department of agriculture. Office of Experiment stations. Exper. Stat. Bull. Nr. 8. Washington. 1892. p. 22—94.

J. B. Lawes und *J. H. Gilbert.* **The sources of the nitrogen in our leguminous crops.** Journ. of the roy. agr. soc. of England. Third Series. Vol. II. Part. IV. p. 657—702. London 1892.

A. G. Schmitter. **Neue Beiträge zur Bodenimpfung.** Der Landwirth. 1891. Nr. 70.

II. Physik der Pflanze.

Mittheilungen aus dem agrikulturphysikalischen Laboratorium und Versuchsfelde der technischen Hochschule in München.

LXVII. Untersuchungen über den Einfluß des Wassers auf das Wachsthum der Kulturpflanzen bei verschiedener physikalischer Beschaffenheit des Bodens.

Von Professor Dr. **E. Wollny** in München.

Bei einer anderen Gelegenheit[1]) hat Referent den Nachweis geliefert, daß das im Boden in verschiedenen Mengen vorkommende Wasser auf die Entwickelung und das Produktionsvermögen der Gewächse einen sehr bedeutenden Einfluß ausübt, welcher in der Weise in die Erscheinung tritt, daß die Neubildung organischer Substanz seitens der Pflanzen von einer unteren Grenze ab mit steigendem Wassergehalt des Erdreiches bis zu einem mittleren Grade der Feuchtigkeit stetig zunimmt, sich aber weiterhin in dem Maße vermindert, als das Wasser in größeren Mengen in dem Kulturmedium auftritt und schließlich bei der Mehrzahl der Nutzgewächse fast auf Null herabsinkt, sobald sämmtliche Poren des Bodens dauernd mit Wasser erfüllt sind. Mehrfache Beobachtungen hatten nun gezeigt, daß die betreffenden Wirkungen verschiedener Feuchtigkeitsmengen des Bodens, besonders unterhalb der am günstigsten sich erweisenden Grenze, dem Grade nach, je nach der physikalischen Beschaffenheit des Erdreichs nicht unwesentlich von einander abweichen. Erklärlich wird dies, wenn man berücksichtigt, daß den Kräften, durch welche die Pflanze mittelst ihrer Wurzeln dem Boden das Wasser ent-

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. X. 1887. S. 153—178.

zieht (Osmose, Wasseranziehungsvermögen der Protoplasmen der Wurzelzellen u. s. w.), solche seitens des Bodens je nach dessen mechanischer Zusammensetzung gegenüberstehen (Attraktion seitens der Bodenelemente, Kapillarität u. s. w.) und daß demgemäß die in divergirender Richtung unter natürlichen Verhältnissen eintretenden Wechselwirkungen zwischen diesen Kräften verschieden sein müssen, je nach der Energie, mit welcher das Wasser vom Boden festgehalten wird.

Um einen experimentellen Beleg für diese in mehrfacher Beziehung sowohl theoretisch wie praktisch wichtigen Erscheinungen zu liefern, wurde vom Referenten ein und dieselbe Pflanze in drei in ihren physikalischen Eigenschaften von einander abweichenden Bodenarten (Sand, Thon, Humus) bei verschiedenem, aber bei einem für die einzelnen Materialien gleichen Wassergehalt kultivirt.

Als Sand kam ein mittelfeiner, weißer, aus der Nürnberger Gegend stammender Quarzsand in Anwendung, der frei von allen Beimengungen war.

Der Thon war in diesen Versuchen durch einen Ziegellehm von Berg a. Laim bei München repräsentirt.

Der Humus wurde in Gestalt von zerriebenem und gesiebtem Torf, aus dem Schleißheimer Moor bei München bezogen, benützt.

Die Gefäße, welche zur Aufnahme des Bodens dienten, bestanden aus glasirten Blumentöpfen, welche bis 2,5 cm unter dem Rande einen Rauminhalt von 3550 ccm besaßen. Von jeder Bodenart[1]) wurden je 10 Gefäße mit einem gleich großen Volumen (im eingerüttelten oder sanft zusammengepreßten Zustande) beschickt. Die Durchfeuchtung der Bodenmaterialien mit den auf 5, 10, 15 u. s. w. bis 60 Vol. % bemessenen Wassermengen erfolgte bis 40 Vol. % durch Mischung, bei 50 und 60 % durch Aufgießen der vorher abgewogenen Wassermengen. Die Details lassen sich aus folgender Zusammenstellung ersehen:

---

[1]) Im lufttrockenen Zustande.

Volumen des Bodens: 3550 ccm.

	Wassergehalt des Bodens.		Gewicht des lufttrockenen Bodens.		
	Vol. %.	Absolut.	Sand.	Lehm.	Torf.
		gr	gr	gr	gr
1.	5	90			
2.	10	180			
3.	15	270			
4.	20	360			
5.	25	450	5600	4200	1600
6.	30	540			
7.	35	630			
8.	40	720			
9.	50	900			
10.	60	1080			

Zur Befruchtung des Erdreiches wurde ein Düngergemisch benutzt, welches zu $^1/_3$ aus Fäkalguano, $^1/_3$ Peruguanosuperphosphat und $^1/_3$ Kainit bestand und in einer Menge von 2,5 gr pro Gefäß durch Aufstreuen und Vermischen mit der obersten Bodenschicht zugeführt wurde.

Der Verdunstungsverlust wurde täglich durch Aufgießen von Wasser ersetzt, so daß der Boden in den einzelnen Töpfen während der ganzen Versuchszeit fast konstant den oben näher bezeichneten Feuchtigkeitsgehalt besaß.

Die Pflanzen entwickelten sich nach dem Eingangs zitirten Gesetz den ihnen zu Gebote stehenden Wassermengen entsprechend, zeigten aber bei den verschiedenen Böden bei einem und demselben Wassergehalt die aus folgender Tabelle ersichtlichen Unterschiede in ihrem Produktionsvermögen:

1890. **Sommerroggen.**

Je 5 Pflanzen.

Nr.	Wassergehalt des Bodens.		Sand.					Lehm.					Torf.				
	Volum %	Absolut. gr	Aehrchen- resp. Schotenzahl.	Zahl der Körner.	Erntegewicht, gr. Körner.	Stroh.	Summa.	Aehrchen- resp. Schotenzahl.	Zahl der Körner.	Erntegewicht, gr. Körner.	Stroh.	Summa.	Aehrchen- resp. Schotenzahl.	Zahl der Körner.	Erntegewicht, gr. Körner.	Stroh.	Summa.
1	5	90	2	10	0,3	0,4	**0,7**[1]	0	0	0,0	0,0	**0,0**	0	0	0,0	0,0	**0,0**
2	10	180	2	75	1,7	2,4	**4,1**	7	25	0,4	1,9	**2,3**	0	0	0,0	0,0	**0,0**
3	15	270	12	144	3,6	5,3	**8,9**	8	48	1,2	2,6	**3,8**	6	20	0,4	1,1	**1,5**[2]
4	20	360	14	184	4,1	8,0	**12,1**	11	143	3,7	5,5	**9,2**	6	33	0,6	2,1	**2,7**
5	25	450	15	216	5,7	12,5	**18,2**	15	162	4,3	9,6	**13,9**	18	205	5,3	9,2	**14,5**
6	30	540	17	216	6,0	13,2	**19,2**	16	161	4,8	10,2	**15,0**	19	247	6,1	10,7	**16,8**
7	35	630	16	303	7,6	12,4	**20,0**	15	208	5,2	14,1	**19,3**	19	294	7,8	14,6	**22,4**
8	40	720	16	301	8,6	14,7	**23,3**	16	211	6,0	11,5	**17,5**	17	349	9,2	15,6	**24,8**
9	50	900	23	442	10,8	22,7	**33,5**	21	274	8,2	16,4	**24,6**	22	438	11,4	23,3	**34,7**
10	60	1080	17	317	9,3	16,0	**25,3**	19	336	9,3	18,2	**27,5**	18	464	12,6	25,9	**38,5**

1891. **Erbsen.**

Je 5 Pflanzen.

1	5	90	0	0	0,0	0,1	**0,1**[3]	0	0	0,0	0,0	**0,0**	0	0	0,0	0,0	**0,0**
2	10	180	1	1	0,1	0,5	**0,6**	0	0	0,0	0,4	**0,4**[3]	1	2	0,2	0,3	**0,5**[4]
3	15	270	12	26	9,7	11,8	**21,5**	2	2	0,2	3,8	**4,0**	2	2	0,6	4,9	**5,5**
4	20	360	13	26	10,1	14,0	**24,1**	6	7	2,6	7,0	**9,6**	9	21	7,3	13,4	**20,7**
5	25	450	13	31	13,0	20,7	**33,7**	9	17	4,7	12,2	**16,9**	12	24	8,4	16,0	**24,4**
6	30	540	15	30	14,3	24,8	**39,1**	12	27	11,0	16,5	**27,5**	12	26	9,5	19,1	**28,6**
7	35	630	13	34	14,0	22,6	**36,6**	10	26	12,1	17,2	**29,3**	14	35	14,6	22,1	**36,7**
8	40	720	15	38	14,8	28,6	**43,4**	13	34	15,8	20,9	**36,7**	17	38	18,1	25,0	**43,1**
9	50	900	16	38	15 3	34,8	**50,1**	15	44	20,8	25,8	**46,6**	16	44	20,0	30,8	**50,8**
10	60	1080	13	24	12,0	31,0	**43,0**	18	52	23,4	33,6	**57,0**	16	49	23,4	37,7	**61,1**

Bei Durchsicht dieser Zahlen ergiebt sich zunächst deutlich, daß die Pflanzen im Sande (1—3) bereits bei einem Wassergehalt (5—15 Vol. %) zu vegetiren und zu produziren vermochten, der bei dem Lehm und Torf nicht einmal ausreichend war, um die Samen zum Keimen (Lehm und Torf 1 und 2) oder zu einer irgendwie in Betracht kommenden Entwickelung zu bringen (Lehm und Torf 3). Auch bei 20, 25

[1]) 3 Pflanzen.
[2]) 4 Pflanzen.
[3]) Je eine Pflanze.
[4]) 2 Pflanzen.

und 30 Vol. % Feuchtigkeit befand sich der Sand bezüglich des Ertragsvermögens der Pflanzen im Vorsprung, im Vergleich zu den beiden anderen Bodenarten, und erst von einem Wassergehalt des Bodens von 35% ab traten im Allgemeinen die entgegengesetzten Verhältnisse in den Ernten hervor. Bemerkenswerth ist ferner die aus den Ergebnissen beider Versuchsjahre hervorgehende Thatsache, daß bei dem Sande bei einem Wassergehalt desselben von 60% die Grenze schon überschritten war, bei welcher die Pflanzen das Maximum des Ertrages liefern, während in dem Lehm und Torf erst bei diesem Wasservorrath das höchste Produktionsvermögen der betreffenden Gewächse unter den vorliegenden Bedingungen erreicht wurde. Ohne Weiteres wird aus derartigen Beobachtungen gefolgert werden müssen, daß die Pflanzen im Sandboden zur Entwickelung und zur Erzielung von Maximalernten eines geringeren Wassergehaltes der Vegetationsschicht bedürfen als unter sonst gleichen Verhältnissen im Lehm- und Humusboden.

Zur Erklärung dieser Erscheinung werden vornehmlich die Unterschiede herauszuziehen sein, welche die verschiedenen Bodenarten in Bezug auf die Energie, mit welcher sie das Wasser festzuhalten vermögen, aufzuweisen haben. In dieser Beziehung kommen hauptsächlich die durch Flächenanziehung, Imbibition seitens der kolloidalen Bodenelemente, sowie durch Kapillarität hervorgerufenen Wirkungen in Betracht.

Da die Flächenanziehung bei gleicher Masse mit der Feinheit der Partikel wächst, so ist es leicht verständlich, warum die durch dieselbe fixirten Wassermengen um so größer sind, je kleiner die Bodentheilchen. In Bezug auf vorliegende Verhältnisse würde hiernach zu folgern sein, daß der relativ grobkörnige Sand auf dem in Rede stehenden Wege zweifellos ungleich geringere Wassermengen zu binden vermag als der äußerst feinkörnige Lehm und poröse Torf.

Bei den kolloidalen Substanzen des Bodens, die in den hier mitgetheilten Versuchen hauptsächlich durch den kolloiden Thon im Lehm und die Humussäuren im Torf vertreten waren, findet bei der Benetzung eine Einlagerung von Wassermolekülen zwischen die Moleküle der betreffenden Partikel statt, wodurch das in dieser Weise aufgenommene Wasser in einem außerordentlichen Grade festgehalten wird. Es kann daher auch nicht Wunder nehmen, daß die an kolloidalen Bestandtheilen

reichen Bodenarten (Lehm, Torf), das Wasser in weit höherem Maße bewahren als jene, welche arm an solchen Beimengungen sind, oder, wie der Quarzsand, derselben vollständig entbehren.

Was schließlich die durch Kapillarität bedingten Wirkungen anlangt, so ist durch zahlreiche Beobachtungen festgestellt worden, daß diese mit der Feinheit der Bodenelemente zunehmen, derart, daß die mittelst dieser Kraft zurückgehaltenen Wassermengen um so größer sind, je kleiner die Partikel und umgekehrt. Es wird demnach auch der Sand in dieser Hinsicht dem Lehm resp. Torf wesentlich nachstehen, weil er weit grobkörniger ist, und in Folge dessen größere Hohlräume einschließt als diese [1]).

Unter Berücksichtigung der geschilderten Verhältnisse wird gesagt werden können, daß die Kräfte, durch welche das Wasser im Boden festgehalten wird, in dem Sande weit geringer sind, als in den beiden andern Versuchsböden. Bei der Entnahme des Wassers seitens der Pflanzenwurzeln werden deshalb auch bei jener Bodenart ungleich geringere Widerstände sich darbieten als bei dem Lehm und Torf, die, wie gezeigt, bei niedrigem und mäßigem Wasservorrath den Uebergang des Wassers in die Pflanze in außerordentlichem Grade erschweren.

Bei Verallgemeinerung der Ergebnisse dieser Versuchsreihe würden diese dahin zu präzisiren sein, daß die bei der Wasserentnahme durch die Pflanzenwurzeln seitens des Bodens entgegengestellten Widerstände mit der Feinheit der Partikel und dem Gehalt an Kolloidsubstanzen in der Vegetationsschicht wachsen.

[1]) Bei dem Torf besitzen zwar die einzelnen Theilchen einen verhältnißmäßig größeren Durchmesser, aber die wenig zersetzten Elemente enthalten eine große Menge kleinster Hohlräume, welche für die Wasseraufspeicherung der Masse von maßgebendstem Einfluß sind.

Ueber die Auflösung der Blattrosetten von Plantago-Arten bei unterirdischer Kultur.

Von Professor Dr. J. **Wiesner**,
Direktor des pflanzenphysiologischen Instituts der Universität in Wien.

Vor einiger Zeit veröffentlichte ich in den Berichten der Deutschen Botan. Gesellschaft (Bd. IX. p. 46—53) eine kleine Abhandlung, in welcher ich meine Untersuchungen über Formänderungen, welchen Pflanzen mit grundständigen Blättern unter geänderten Vegetationsbedingungen, namentlich bei Kultur in absolut feuchtem Raume und im Dunkeln unterworfen sind, in Kürze mittheilte.

Ueber das Verhalten einiger Plantago-Arten bemerkte ich damals Folgendes: «Plantago major läßt sich durch unterirdische Kultur, unter welchen Verhältnissen sowohl die Lichtwirkung als auch die Transpiration fast gänzlich ausgeschlossen sind, zur Bildung entwickelter Stengelglieder zwingen. Viel schwieriger gelingen die Versuche mit Plantago lanceolata; hingegen gab mir Plantago media bei diesen von mir oftmals wiederholten Versuchen durchaus negative Resultate».

Herr Prof. *C. Kraus* hatte schon vorher bezüglich Plantago media andere Resultate erhalten; er fand nämlich bei unterirdischer Kultur eine Auflösung der Blattrosette. Aus Anlaß der von mir gewonnenen von den seinen abweichenden Resultaten wiederholte Herr Prof. *Kraus* seine Versuche, und zwar wieder mit gleichem Erfolge. Ich hatte durch die Güte des Herrn Prof. *Kraus* Gelegenheit, die Resultate seiner Versuche kennen zu lernen.

«Es ist gewiß von Interesse», sagt Herr Prof. *Kraus* in seinem diesem Gegenstand gewidmeten Artikel (diese Zeitschrift, Bd. XV. p. 93), «daß die Versuche *Wiesner*'s und des Referenten bei der nämlichen Art so

verschiedene Resultate gegeben haben. Es bleibt aufzuklären, welche besonderen Umstände bei der Auflösung der Blattrosetten von Plantago media maßgebend waren.»

Ich habe im vorigen und auch in diesem Jahre die Plantago betreffenden Versuche unter mehrfacher Abänderung wiederholt und glaube nunmehr sagen zu können, daß der Grund unserer differenten Resultate in der Verschiedenartigkeit unserer Kulturmethode gelegen ist.

Die Versuche des Herrn Prof. *Kraus* wurden in freiem Grunde ausgeführt. Die Pflanzen befanden sich entweder an ihren natürlichen Standorten und wurden daselbst einfach mit Erde (etwa handhoch) überdeckt, oder sie kamen in eingetopftem Zustande, nachdem sie sich vorerst bewurzelt hatten, in Erdlöcher und wurden dann mit Erde überdeckt.

Meine Versuche wurden im Kalthause in freistehenden geräumigen Blumentöpfen, in welchen die Pflanzen 10—15 cm hoch mit Erde überdeckt waren, ausgeführt.

Alle in meine Versuche einbezogenen Plantago-Arten (Plantago media, major und lanceolata) standen genau unter denselben Vegetationsbedingungen. Alle drei Arten bildeten unterirdisch Blätter aus; aber die Stengelglieder der beiden letzteren wurden zu «entwickelten» Internodien, die der ersteren blieben unentwickelt. Während die Blätter von Plantago major und später die von lanceolata sich durch Verlängerung der tragenden Axe bis zum Lichte Bahn gebrochen hatten, starben die durchaus unterirdisch gebliebenen beblätterten Exemplare von Plantago media ab.

Durch abgeänderte Kultur gelang es mir, in diesem Sommer auch bei dieser Pflanze unterirdische Triebe mit entwickelten Stengelgliedern zu erhalten. Die Töpfe standen wohl auch bei diesen Versuchen frei im Kalthause, aber es wurde statt, wie in den früheren Versuchen, reiner Mistbeeterde ein Gemenge von dieser und Sand angewendet, und dafür Sorge getragen, daß die Bodenfeuchtigkeit eben nur ausreichte, um die Pflanzen frisch zu erhalten.

Es bildeten die bedeckt in Töpfen stehenden Pflanzen als Fortsetzung der Blattrosetten einige Blätter an unentwickelter Axe, hierauf erlosch das terminale Wachsthum, und es starben die Pflanzen entweder ab, oder sie entwickelten einige Centimeter unter dem Vegetationspunkte je einige Adventivtriebe, welche an entwickelten Stengelgliedern Blattanlagen hervor-

brachten, so daß die Pflanzen befähigt waren, ihre Blätter über die Erde zu bringen.

Da die von mir mittlerweile im Freilande[1]) durchgeführte Wiederholung der Versuche des Herrn Prof. *Kraus* Resultate ergab, welche mit denen des genannten Forschers übereinstimmten, so ist nicht zu bezweifeln, daß in seinen Versuchen sich die Pflanzen unter günstigeren Verhältnissen befanden, mithin seine Kulturmethode die zweckmäßigere war. Die von mir angewendete Kulturmethode hatte nur den Vortheil, alle Vegetationsbedingungen leichter überschauen und leichter konstant erhalten zu können. Ich hatte deshalb zu meinen vergleichenden Versuchen absichtlich diese Methode gewählt.

Diese von mir benützte Methode hat denn auch schließlich gelehrt, daß bei unterirdischer Kultur Plantago major und lanceolata leichter als Plantago media entwickelte Stengelglieder bilden, und daß die letztere unter den angeführten relativ ungünstigen Vegetationsbedingungen nur auf dem Umwege der Adventivbildung ungestauchte Sprosse hervorzubringen vermag.

Wien, im Oktober 1892.

---

[1]) Ich darf nicht unerwähnt lassen, daß Herr Dr. *v. Wettstein*, nunmehr ord. Universitätsprofessor in Prag, die Güte hatte, auf meine Bitte gleichfalls einige Freilandsversuche mit Plantago media im hiesigen botanischen Universitätsgarten auszuführen. Wie wir uns gemeinschaftlich überzeugten, hatten die gesündesten der Exemplare die Blattrosette «aufgelöst», d. h. der ungestauchte Sproß ging unmittelbar aus dem gestaucht gewesenen (der Blattrosette) hervor; minder kräftige Exemplare bildeten ungestauchte Adventivsprosse, verhielten sich also so wie die besten meiner Topfkulturen, andere Exemplare gingen bei der Freilandkultur zu Grunde.

Neue Litteratur.

S. Schwendener und *G. Krabbe.* **Untersuchungen über die Orientirungstorsionen der Blätter und Blüten.** Abhdlg. d. k. preuß. Akad. d. Wiss. zu Berlin vom Jahre 1892. 115 S. Mit 3 Tafeln.

I. Zur Theorie der Torsion. Kann durch Kombination zweier oder mehrerer Kräfte, von denen jede für sich nur krümmend in einer bestimmten Ebene wirkt, eine Torsion entstehen?

Es ist die Behauptung aufgestellt worden, daß unter Umständen durch die alleinige Wirkung des Lichts oder der Schwerkraft an wachsenden Pflanzentheilen Torsion hervorgerufen werden könne. Dies sei dann der Fall, wenn es sich um symmetrische oder dorsiventrale Organe handle und wenn bei solchen Licht oder Schwerkraft in einer anderen als der Symmetrieebene zur Wirkung komme. Die Verff. zeigen aber, daß die Kombination zweier krümmender Kräfte immer nur wieder eine Krümmung, niemals eine Torsion erzeuge, es entstehen stets nur einfache Krümmungen. Dies wird an künstlichen Modellen wie an pflanzlichen Objekten und auf mathematischem Wege nachgewiesen.

II. Experimentelle Untersuchungen über die Beziehungen der Orientirungstorsionen zu den gleichzeitig auftretenden Krümmungen.

Die Untersuchungen wurden zunächst mit den Infloreszenzen gewisser Pflanzen angestellt, deren Einzelblüthen die Eigenschaft zeigen, sich durch Torsionen der Stiele mit ihrer Oeffnung von der Spindel wegzukehren. Sind die Blüthenstandsaxen abwärts gerichtet, so sind die Torsionen mit geotropischen Aufkrümmungen verbunden. Es zeigte sich aber, daß Aufwärtskrümmung und Torsion in keiner Beziehung zu einander stehen, indem bei bereits längeren Blüthenstielen die zur Torsion führenden Wachsthumsvorgänge sich auf den oberen, an der geotropischen Krümmung unbetheiligten Theil des Stieles beschränken. Die Torsion beginnt an den Stielen niemals vor oder während der geotropischen Aufrichtung. Der Zeitpunkt des Eintritts nach der geotropischen Krümmung hängt ebenso wie die Geschwindigkeit, mit der sie ausgeführt wird, vom Entwickelungsstadium der Blüthen ab. Blüthen im Knospenstadium verharren nach der Aufkrümmung so lange in der hierdurch erreichten Lage, bis sie dem Zeitpunkte der Entfaltung nahekommen, erst dann beginnt die Auswärtsbewegung. Sehr deutlich äußert sich die gegenseitige Unabhängigkeit der beiderlei Bewegungen in den vielen Fällen, in welchen die normale Orientirung durch Wachsthumsvorgänge geschieht, welche sich in geraden Organen oder Organtheilen abspielen. Waren die sich tordirenden Organe gekrümmt, so kommt die Auswärtsbewegung gleichfalls nur durch eine unmittelbare Torsion zu Stande, wobei als Folge der Torsion Spiralwindung entsteht. — Macht man durch geeignete Vor-

kehrungen Krümmungen unmöglich, so kommt die Torsion eben so vollständig und schnell zur Ausführung, als wenn die Stiele sich geotropisch aufwärtskrümmen können. Ferner lehren diese Experimente auch, daß das Auftreten der Torsion von der Richtung der Blüthenstiele zum Erdradius unabhängig ist.

III. Ueber den äußeren Verlauf der Torsion.

Es ist höchst bemerkenswerth, daß die Stieltorsionen nicht zum Stillstand kommen, sobald die Blüthen und Blätter ihre normale Orientirung gegen die Tragaxe erreicht haben, vielmehr gehen die Torsionen basalwärts am Stiel bei allen Pflanzen, deren Blätter und Blüthen mit längeren Stielen versehen sind, über die angegebene Grenze hinaus. Wenn gleichwohl die Orientirung zur normalen wird, so ist dies dadurch möglich, daß die Drehung im oberen Theil der Stiele um so viel wiederum beseitigt wird, als sie basalwärts ein gewisses Maß überschreitet.

IV. Ueber die Ursachen der Orientirungstorsionen.

Diese Torsionen könnten entweder in bestimmten inneren Organisationsverhältnissen der Pflanzen begründet liegen oder erst unter dem Einflusse äußerer Faktoren entstehen. Sind sie das Resultat innerer Ursachen, so müßten sie auch entstehen, wenn die Pflanzen der einseitigen Wirkung äußerer Faktoren entzogen sind. Dies ist aber nicht der Fall, bei Ausschluß einseitiger Licht- und Schwerkraftswirkung auf dem Klinostaten sind wohl Krümmungen, aber niemals Torsionen zu beobachten; sie treten erst unter der Einwirkung äußerer Faktoren ein. Als solche kommen nur die schon angegebenen Richtkräfte in Betracht und die Untersuchung führt zu dem wichtigen Ergebnisse, daß es unrichtig ist, zu behaupten, Licht und Schwerkraft könnten wie jede andere einseitig angreifende Kraft nur krümmend in einer Ebene, nicht aber unmittelbar tordirend wirken. Vielmehr giebt es neben derjenigen Licht- und Schwerkraftswirkung, die in sichtbarer Weise in den bekannten geotropischen und heliotropischen Krümmungen zum Ausdruck gelangt, auch eine andere, aus welcher die Orientirungstorsionen hervorgehen.

V. Die Bedeutung der Schwerkraft für das Zustandekommen der Orientirungstorsionen.

In diesem Abschnitte werden die Beziehungen der Schwerkraft zu den Orientirungstorsionen noch näher begründet und wird hierdurch die sichere Thatsache festgestellt, daß die unter Ausschluß einseitiger Beleuchtung auftretenden Blatt- und Blüthenstieldrehungen echte geotropische Torsionen repräsentiren. Da sich in den geotropischen Krümmungen und Torsionen zwei ganz verschiedene Wirkungserscheinungen ein und derselben Kraft äußern, so wählten die Verff. hierfür auch verschiedene Bezeichnungen und unterscheiden Geotropismus und Geotortismus. Letztere Reaktionsfähigkeit ist auch nicht etwa eine Theilerscheinung des «Transversalgeotropismus». Die geotropischen Torsionen treten auch an vertikalen Organen ein, wie auch bei jeder anderen Lage; sie sind im Allgemeinen von der Richtung der Organe zum Erdradius unabhängig und dadurch vom transversalen oder longitudinalen Geotropismus ganz verschieden.

Eigenthümlich ist, daß durch Verwundungen, Wegschneiden benachbarter Organe u. dgl. das gewöhnliche Verhalten in dem Falle weitgehend beeinflußt

wird, wenn dadurch Verhältnisse geschaffen werden, unter welchen die seitlichen Organe ihre zweckmäßige Lage in viel einfacherer Weise als an der intakten Pflanze erreichen können. Entfernt man z. B. von einer Orchideenspindel den oberen Theil, so ist es für die in unmittelbarer Nähe der Schnittfläche stehenden Blüthen zwecklos geworden, eine Torsion auszuführen, denn es ist für sie eigentlich keine Spindel mehr da, von der sie sich hinwegzuwenden hätten. Wenn nur die Blüthen mit ihrer Vorderseite über die Schnittfläche hinwegsehen, so sind sie eben so zweckmäßig orientirt wie die tiefer stehenden Blüthen, die erst durch Torsion ihre Vorderseite in die geeignete Lage, nach außen zu, bringen müssen.

VI. Bemerkungen zur Mechanik der Orientirungstorsionen.

Die Orientirungstorsionen verlangen zu ihrer Erklärung die Annahme einer Beeinflussung des Wachsthums in schiefer Richtung: Unter dem Einflusse der Schwerkraft erfährt das Membranwachsthum der einzelnen Zellen in schiefer Richtung zu ihrer Längsaxe eine Zu- oder Abnahme. Damit ist ein Torsionsbestreben der einzelnen Zellen gegeben, welches auch die Torsion des ganzen Organs bedingt. Bezüglich des inneren Zusammenhanges läßt sich nur soviel angeben, daß es das Protoplasma ist, durch dessen Vermittelung das Membranwachsthum in der schiefen Richtung beeinflußt wird.

VII. Die Bedeutung des Lichts für das Zustandekommen und den Verlauf der Orientirungstorsionen bei einseitiger Beleuchtung der Organe.

Bezüglich der Lichtwirkung läßt sich keine allgemeine Regel aufstellen. Während bei den Blüthen von Viola u. dgl. das Licht die zur Erreichung einer bestimmten Lichtstellung erforderlichen Torsionen ganz allein zu erzielen vermag, bedarf es hierzu in anderen Fällen der Mitwirkung der Schwerkraft. Bei der letzteren liegen die Verhältnisse ganz anders, indem es stets die Schwerkraft allein ist, welche die zur Orientirung erforderlichen Torsionen zu verursachen im Stande ist, vorausgesetzt, daß sich die Organe in normalem Wachsthum befinden. Für die Fälle, in welchen das Licht unabhängig von der Mitwirkung anderer Kräfte Drehungen zu verursachen im Stande ist, sind wir zur Annahme eines Heliotortismus genöthigt, der eine für sich bestehende Reaktionsfähigkeit darstellt.

VIII. Die Bewegungen bogenförmiger Organe unter der krümmenden Wirkung von Licht oder Schwerkraft.

In diesem Abschnitt weisen die Verff. eingehend nach, daß alle auf Grund der Annahme, Licht und Schwerkraft könnten nur Krümmungen in einer Ebene verursachen, unternommenen Erklärungsversuche der geotropischen und heliotropischen Torsionen unhaltbar sind.

«Alle Orientirungsbewegungen beruhen auf Krümmungen und Torsionen. Nun ist im Vorausgehenden nicht bloß an künstlichen Modellen und durch direkte Versuche an wachsenden Pflanzentheilen, sondern außerdem auch noch theoretisch in allgemein gültiger Weise der Beweis geliefert worden, daß aus der Kombination von Krümmungen niemals Drehungen resultiren können; darum können zur Erklärung der Orientirungstorsionen Krümmungen irgend welcher Art nicht herangezogen werden. Wie ferner im letzten Kapitel gezeigt wurde, besitzen die von *Ambronn* hervorgehobenen Momente für den vorliegenden Gegenstand keine Be-

deutung. Daselbe gilt von dem Eigengewicht der Blätter und Blüthen; dasselbe mag hie und da für das Zustandekommen und den Verlauf der Torsion eine gewisse Rolle spielen; im Allgemeinen aber kann es als feststehende Thatsache betrachtet werden, daß die Orientirungsbewegungen durch aktive Wachsthumsvorgänge vermittelt werden, welche die entgegengesetzte Wirkung des Eigengewichts zu überwinden vermögen. Wie wir endlich gesehen haben, sind auch in der inneren Organisation der hierher gehörigen Organe keinerlei Faktoren gegeben, die Torsionen bedingen, weil diese sonst auch auftreten müßten, wenn man die einseitige Wirkung äußerer Richtkräfte aufhebt. Nach alledem läßt sich allgemein giltig behaupten, daß sämmtliche auf Torsion beruhende Bewegungen, welche wachsende Pflanzentheile zur Erzielung einer bestimmten Orientirung zum Erdradius, zum einfallenden Licht oder zur Tragaxe ausführen, unter dem unmittelbaren Einfluß des Lichts oder der Schwerkraft zu Stande kommen, indem von diesen Kräften tordirend wirkende Wachsthumsvorgänge ausgelöst werden.»

C. K.

***F. Oltmanns.* Ueber die photometrischen Bewegungen der Pflanzen.** Flora. 1892. N. R. Jahrgang L. 1892. S. 183. — Naturw. Rundschau. 1892. Nr. 37. S. 473.

Durch die Ergebnisse seiner Untersuchungen über die Abhängigkeit der Meeresalgen vom Licht wurde Verf. zur Prüfung der Frage angeregt, ob nicht sämmtliche Pflanzen durch irgend welche Vorkehrungen im Stande seien, die eventuellen schädlichen Einwirkungen einer veränderten Lichtintensität zu paralysiren. Hierzu war eine erneute Untersuchung der noch in vieler Beziehung so dunklen Prozesse des Heliotropismus, der Phototaxie, der Photonastie u. s. w erforderlich. Verf. führte dieselben unter Benützung seiner Gelatine-Tusch-Prismen aus. Diese Prismen bestehen aus zwei Glasplatten, die unter einem sehr spitzen Winkel (1° und 2°) aufeinander stoßen und mit Tusche gemengte Glycerin-Gelatine einschließen. Läßt man Licht auf eine der Platten fallen, so passirt es an der dünnsten Stelle des Prismas fast ungehindert, wird aber mit zunehmender Dicke der Gelatine-Tuscheschicht stetig mehr absorbirt, so daß vom hellsten zum dunkelsten Ende eine ganz allmähliche Abnahme der Helligkeit statt hat. Bei der Kleinheit des Prismenwinkels kann die Ablenkung der Strahlen für die Versuche keine Rolle spielen, viel mehr läßt sich mit den Platten experimentiren wie mit etwas dicken Glasplatten.

Den Pflanzen kommt ganz allgemein die Fähigkeit zu, verschiedene Grade der Lichtintensität zu perzipiren. Diese Eigenschaft nennt Verf. Photometrie. Eine Form, in der die Photometrie auftreten kann, ist zunächst die

Phototaxie, worunter diejenigen photometrischen Bewegungen zu verstehen sind, bei welchen Organismen die ihrer Lichtstimmung[1]) entsprechende Helligkeit erreichen, resp. zu erreichen suchen durch Ortsveränderung des ganzen Körpers. Phototaktisch sind z. B.: Volvox und Spirogyra, über deren Verhalten

[1]) Lichtstimmung nennt Verf. denjenigen Zustand des Organismus, der ihn zwingt, in einem gegebenen Moment ein bestimmtes Optimum zu erstreben.

bei wechselnder Beleuchtung Verf. genauere Versuche mittheilt. Es ergiebt sich aus diesen Versuchen, daß Volvox ein sehr scharfes Unterscheidungsvermögen für verschiedene Helligkeiten besitzt und sowohl aus zu starkem, wie aus zu schwachem Lichte sich wegbegiebt, um eine mittlere Intensität aufzusuchen. Im Gegensatz zu den Anschauungen der meisten anderen Forscher findet Verf., daß die Richtung der Bewegung nicht durch den Gang der Lichtstrahlen, sondern durch die Lichtintensität bewirkt wird. In gleicher Weise ist auch Spirogyra auf eine genau definirte Lichtintensität abgestimmt; bei Aufsuchung derselben benehmen sich die Algenfäden sehr «vernünftig», insofern sie sich an den helleren Stellen dicht zusammenschließen und gegenseitig beschatten, an den etwas dunkleren Stellen aber sich lockerer stellen und damit dem Lichte freien Zutritt gewähren.

Die Phototaxie der radiär gebauten Organismen, wie Volvox und Spirogyra, unterscheidet Verf. als Orthophototaxie von derjenigen der bilateralen Chlorophyllkörper, die er Plagiophototaxie benennt. Die Chlorophyllkörper nehmen bekanntlich bei intensivem Licht Profil-, bei schwachem Licht Flächenstellung ein. Der Grund, weshalb Verf. auch diese Bewegungen den phototaktischen zuzählt, ist der, daß wir es hier, wie durch die Beobachtungen früherer Forscher gezeigt worden ist, mit Bewegungen des ganzen Plasmaleibes zu thun haben, so daß eine unverkennbare Aehnlichkeit mit den Bewegungen freier Plasmodien, den Schwärmsporen u. s. w. besteht. Ein Unterschied ist in dem Vorhandensein der Zellmembranen gegeben, die dem Plasmakörper keine unbeschränkte Bewegungsfreiheit gestattet. Er kann nicht die seiner Lichtstimmung entsprechende Helligkeit durch Fortbewegung aufsuchen, sondern ist genöthigt, sich in seinem relativ unbeweglichen Käfig, so gut es gehen will, einzurichten. Verf. erläutert die Vorgänge näher durch Versuche, namentlich an der mit Spirogyra nahe verwandten Alge Mesocarpus, die eine einzige große Chlorophyllplatte in jeder Zelle enthält. Bei sehr großer Intensität zeigt diese Platte Profilstellung; sie behält diese Lage auch bei verschiedenen Intensitäten bei, so lange als eine gewisse untere Grenze nicht überschritten wird. Ist dies aber erfolgt, so beginnt die Platte Schrägstellungen und bei stärkerer Verdunkelung geht ein Theil von ihr, indem sie an einer Stelle gedreht wird, in die Flächenstellung über; es ließ sich zeigen, daß jeder Helligkeit eine ganz genau bestimmte Plattenstellung entspricht, indem das dem Lichte zugekehrte Stück der Chloroplasten für jede Intensität eine andere Größe besitzt. Als Beispiel einer Pflanze mit zahlreichen Chlorophyllkörpern untersuchte Verf. das Verhalten eines Laubmooses, Funaria hygrometrica, und fand ein entsprechendes Resultat. An den hellsten Stellen konstatirte er die ausgesprochene Profilstellung, an den dunkelsten eine eben so präzise Flächenstellung; zwischen beiden fanden sich alle Uebergänge und in einer Region war eine vollkommen gleichmäßige Vertheilung in Profil- und in Flächenstellung befindlicher Chlorophyllkörper wahrnehmbar. Von dieser Fläche aus nahm die Zahl der in Flächenstellung befindlichen Körner stetig zu, wenn man nach dem dunkleren Prismenende fortschritt, sie nahm ständig ab, wenn man sich nach dem helleren Ende hin bewegte. Daß sich die Mehrzahl aller chlorophyllführenden Pflanzen analog verhalten wird, ist kaum zweifelhaft.

Wenn auch die Bewegungen in den Funaria-Zellen einen etwas anderen Habitus haben als die bei Mesocarpus, so funktionirt doch bei Funaria der

Chlorophyllapparat als ein Ganzes. Wie bei Mesocarpus unter bestimmten Lichtverhältnissen die eine Hälfte der Platte Profil-, die andere Flächenstellung aufweist, genau so tritt unter analogen Bedingungen die Hälfte der Chlorophyllkörper bei Funaria in Flächenstellung, während die andere in Profilstellung verbleibt, und auch die übrigen Bewegungen bei veränderter Lichtintensität verlaufen in analoger Weise; je nach der Helligkeit wird dem Lichte eine größere oder geringere Fläche des Gesammtapparates dargeboten.

Eine zweite Form in der Photometrie ist die Phototropie, welche die unter dem Namen der heliotropischen Bewegungen bekannten Erscheinungen umfaßt. Man unterscheidet zur Zeit bekanntlich positiv heliotropische und negativ heliotropische Pflanzen, nachdem die schon von *N. J. C. Müller* ausgesprochene Ansicht, daß alle Pflanzen je nach der Lichtintensität positiven oder negativen Heliotropismus zeigen, allgemein verworfen worden ist. Verf. zeigt nun, daß die *Müller*'sche Ansicht vollkommen richtig ist. So kehren z. B. die immer als typisch positiv heliotropisch betrachteten dünnen Fruchtträger des Schimmelpilzes Phycomyces nitens bei großer Helligkeit vom Lichte weg, sind also in diesem Falle negativ heliotropisch, während sie bei Herabsetzung der Lichtintensität eine positive Bewegung (zum Lichte hin) zeigen. Hier wie bei Volvox u. s. w. giebt es eine mittlere Lichtintensität, bei der sich die Pflanze indifferent verhält, und hier wie dort stehen die Richtungsbewegungen in keiner direkten Beziehung zum Einfallswinkel der Lichtstrahlen. Entsprechend verhalten sich auch die grünen Fäden der Alge Vaucheria sessilis, nur daß dieselben eine viel niedrigere Lichtstimmung haben als der Pilz, d. h. bei viel geringerer Helligkeit die negative Beugung ausführen. Dies hängt damit zusammen, daß Phycomyces in freier Luft gedeiht, während Vaucheria zumeist im Wasser lebt. Eine noch höhere Lichtstimmung als Phycomyces besitzen die häufig im direkten Sonnenlicht wachsenden Sprosse der Phanerogamen. So krümmten sich Keimpflanzen der Kresse (Lepidium) erst vom Licht weg, als konzentrirtes Licht angewendet wurde (die Wärmestrahlen wurden durch Einschaltung einer Alaunlösung abgehalten); bei einseitiger starker Besonnung blieben sie indifferent, d. h. standen vertikal, bei schwächerer Beleuchtung zeigten sie sich positiv heliotropisch. Die Thatsache, daß die Hauptsprosse unserer im Freien gedeihenden Pflanzen auch bei Sonnenlicht völlig gerade gerichtet sind, führt *Sachs* darauf zurück, daß sich die Sonne um die Sprosse herumdreht und eine dem Klinostaten ähnliche Wirkung ausübt. Nach *Oltmanns'* Auffassung erfolgt eine Krümmung dieser Sprosse deshalb nicht, weil die Helligkeit des Sonnenlichtes mit der optimalen zusammenfällt, die den Indifferentismus bedingt.

Die nach dem früheren Ausdruck positiv oder negativ heliotropischen Organe würden sich nach dem Gesagten nur durch die Lichtstimmung unterscheiden. Positiv heliotropische Pflanzentheile sind hoch, negative sind niedrig gestimmt; die Intensität, bei welcher der Indifferentismus zum Ausdruck kommt, ist im ersten Fall eine sehr hohe, im zweiten eine sehr niedrige. Auch hier haben wir es wieder mit radiären Organen zu thun gehabt; analog wie bei der Phototaxie bezeichnet Verf. die phototropischen Bewegungen solcher Organe mit Orthophototropie, während diejenigen von dorsiventralen Organen Plagiophototropie genannt werden.

Plagiophototropie wird beispielsweise an den gefiederten Blättern von Robinia pseudacacia beobachtet. Zu jeder Stunde des Tages bilden die Flächen sämmtlicher Blättchen an der Sonnenseite des Baumes einen bestimmten, überall annähernd gleichen Winkel mit den Strahlen der Sonne, während die Blattspindeln die mannigfaltigsten Stellungen im Raume einnehmen. Beobachtungen mit den Gelatine-Tusche-Prismen, wobei im Freien mit Blättern, welche noch intakt am Baume saßen, experimentirt wurde, lieferten den Nachweis, daß einer bestimmten Lichtintensität auch ein bestimmter Winkel zwischen Blattfläche und Lichtstrahlen entspricht. Die Profilstellung der Blättchen tritt bei einer gewissen Lichtintensität ein; sie bleibt dann auch bei größerer Helligkeit unverändert. Erreicht die Helligkeit eine gewisse untere Grenze, so stellt sich jedes Blättchen senkrecht zum einfallenden Strahl und verharrt in dieser Stellung bei noch weiter sinkender Intensität, bis es sich zuletzt rückwärts biegt und in Nachtstellung begiebt. Aehnliches wie bei Robinia pseudacaria beobachtet man bei der Bohne (Phaseolus vulgaris) und bei der Kapuzinerkresse (Tropaeolum majus); doch ist bei der letzteren Pflanze die Lichtstimmung der Blätter eine höhere, so daß eine vollständige Profilstellung nicht zu Stande kommt. Die Erscheinung ist aber jedenfalls nicht auf die genannten Pflanzen beschränkt, sondern stellt eine ganz allgemeine Eigenschaft dorsiventraler Organe dar. Wenn diese (namentlich ältere) nicht alle mit so großer Schnelligkeit reagiren, so wird dies nach Verf. durch die veränderte Bewegungsfähigkeit der Blätter veranlaßt. Gewisse Blätter büßen nämlich die leichte Beweglichkeit, die sie anfänglich haben, später ein, um eine fixe Lichtlage anzunehmen, die der mittleren Helligkeit des Standortes ziemlich genau entspricht.

Die plagiophototropischen Bewegungen sind von *Frank* als Transversalheliotropismus, von *Darwin* als Diaheliotropismus bezw. Paraheliotropismus (bei dem Profilstellung auftritt) bezeichnet worden.

Während die orthophototropischen (radiären) Organe von der Richtung der Lichtstrahlen unabhängig sind, werden die plagiophototropischen (dorsiventralen) Organe innerhalb gewisser Grenzen von dem Gange der Strahlen beeinflußt. Ein weiterer Unterschied ist der, daß erstere sich bei einer bestimmten Helligkeit indifferent verhalten, was von den letzteren nicht gesagt werden kann. Mit den plagiophototaktischen stimmen die plagiophototropischen Punkt für Punkt überein.

Bei allen photometrischen Bewegungen tritt ein Wechsel in der Lichtstimmung hervor, indem der Reiz mit der Helligkeitsdifferenz wächst. Pflanzen, die sich in schwacher Beleuchtung befanden, sind niedriger gestimmt, d. h. reagiren bei geringerer Intensität des Lichtes, als solche, die stärker beleuchtet waren. Genauere Versuche des Verf. sollen den exakten Beweis liefern, daß das *Weber*sche Gesetz, dessen Giltigkeit *Pfeffer* für die chemotaktischen Bewegungen nachgewiesen hat, auch für die photometrischen Bewegungen gilt.

Ob die photometrischen Bewegungen immer direkt zweckmäßig sind, erscheint fraglich, wenn wir sehen, daß manche Algen (Schwärmsporen von Monostroma, viele Ectocarpus-Arten) einer Helligkeit zustreben, in der sie nachher rasch zu Grunde gehen. Nur die plagiophototropischen und plagiophototaktischen Bewegungen wird man zunächst als direkt zweckmäßige ansehen können; doch fehlen auch hier alle experimentellen Nachweise.

Zum Schluß hebt Verf. die große Aehnlichkeit zwischen den photometrischen Erscheinungen und anderen Reizbewegungen, namentlich der Chemotaxis und dem Thermotropismus, hervor. Ihren letzten Grund haben alle diese Reizerscheinungen in dem Empfindungsvermögen des Protoplasmas; nur wenn dieses Intensitätsunterschiede empfindet, erfolgt eine Reaktion. «Damit schreiben wir aber», sagt Verf., «ein Empfindungs- und Unterscheidungsvermögen zu, welches von dem Empfindungsvermögen der Thiere nicht wesentlich abweicht, und ich trage kein Bedenken, die durch unbewußte Empfindungen herbeigeführten Reflexe in eine Linie mit den hier beobachteten Erscheinungen zu stellen, halte z. B. die Verengerung und Erweiterung der Pupille unseres Auges in Folge verschiedener Helligkeit für eine Erscheinung, welche den photometrischen Bewegungen der Pflanzen durchaus in den wesentlichen Grundlagen analog ist.» Unter Hinweis auf die Untersuchungen von *Loeb* behauptet Verf. die Uebereinstimmung zwischen den photometrischen Bewegungen der Pflanzen und denen der Thiere; dementsprechend bestreitet er den von *Loeb* angenommenen direkten Einfluß der Strahlenrichtung auf die letzteren, da er durch eigene Versuche an Mehlwürmern nachweisen konnte, daß die Richtung der Lichtstrahlen nur insofern auf die Bewegungen der Thiere Einfluß hat, als durch sie die Helligkeit beinflußt wird.

***W. Rothert.* Ueber die Fortpflanzung des heliotropischen Reizes.** Berichte d. Deutsch. Botan. Ges. X. H. 7. S. 374—390.

Die Untersuchungen des Verf. knüpfen an eine Beobachtung, beziehungsweise Behauptung *Darwin*'s an, daß bei gewissen Keimlingen die Verdunkelung der oberen Hälfte resp. einer mehrere Millimeter langen Spitzenregion die heliotropische Krümmung des Untertheils verhindere, auch wenn derselbe lange Zeit hindurch einseitig beleuchtet werde. Da bei einseitiger, die ganze Längenausdehnung treffender Beleuchtung starke heliotropische Krümmung eintritt, so schließt *Darwin*, daß bei ihnen die heliotropische Empfindlichkeit auf eine Spitzenregion beschränkt ist, von wo aus der empfangene Reiz auf den direkt nicht empfindlichen Untertheil übertragen und letzterer veranlaßt werde, sich heliotropisch zu krümmen.

Verf. fand zunächst an den Kotylen einiger Gramineen, besonders von Avena sativa und Phalaris canariensis, daß thatsächlich ein derartiges Verhältniß heliotropischer Krümmungsfähigkeit bestehe. Wird die Kotylenspitze verdunkelt, so vollzieht sich die Krümmung des beleuchteten Theils viel langsamer, die Neigung bleibt wesentlich zurück hinter jener ganz beleuchteter Pflanzen. Der Untertheil der Kotylen ist nur in geringem Grade heliotropisch empfindlich, die Spitzenregion sehr bedeutend, von dieser aus pflanzt sich der Lichtreiz zur Basis fort. Da die Spitzenregion sehr langsam wächst, der untere Kotylentheil viel stärker, ergiebt sich, daß Wachsthum und Empfindlichkeit gegen Lichtreizung zwei von einander unabhängige Dinge sind, Krümmungsfähigkeit und Empfindlichkeit können zwar an derselben Stelle, aber auch von einander getrennt auftreten. Die Kotylen krümmen sich auch, wenn nur die Spitze beleuchtet ist; oder wenn Spitze und unterer Theil von entgegengesetzten Seiten beleuchtet sind, so geschieht schließlich die Krümmung im Sinne der Beleuchtung der Spitze. — Eigenthümlich verhalten sich die Keimlinge mehrerer untersuchter Paniceen, welche das Hypokotyl entwickeln:

hier beschränkt sich die heliotropische Empfindlichkeit auf den Kotyledo, auch wenn er nicht mehr wächst, während die Krümmung vom Hypokotyl ausgeführt wird. Ist ersterer verdunkelt, so reagirt letzteres nicht mehr auf einseitige Beleuchtung. — Die Dikotylekeimlinge, welche im Allgemeinen viel ungünstigere Objekte sind als die oben genannten und sogar aus verschiedenen Gründen zum großen Theil für den Versuch ganz unbrauchbar, weisen, soweit untersucht, nicht unbeträchtliche Verschiedenheiten auf. Manche, besonders Brassica Napus, verhielten sich genau wie Hafer, bei etlichen anderen ist die direkte heliotropische Empfindlichkeit in der Spitze des Keimstengels größer als im Untertheil der wachsenden und krümmungsfähigen Region desselben, aber der Unterschied ist weniger bedeutend, auch die Fortpflanzung des heliotropischen Reizes weniger intensiv, bei ungünstigen Wachsthumsbedingungen oft gar nicht hervortretend, bei etlichen Arten von Keimpflanzen endlich ließ sich eine bevorzugte Empfindlichkeit der Spitze nicht mit Sicherheit nachweisen. Bevorzugte Empfindlichkeit der Spitze und Fortpflanzuug des Reizes stehen mit einander in keinem bevorzugten Zusammenhange, auch bei einem überall gleich empfindlichen Organ kann sich der heliotropische Reiz von einem Theil desselben auf den anderen übertragen. Auch bei anderen als Keimlingsorganen war Fortpflanzung des heliotropischen Reizes nachzuweisen. Ob bei solchen auch eine lokal gesteigerte heliotropische Empfindlichkeit vorkommt, war meist nicht mit Sicherheit zu entscheiden, manchen Organen fehlt aber eine bevorzugte Empfindlichkeit der Spitze sicher, bei anderen scheint sie zu bestehen.

«Die Fähigkeit zur Fortpflanzung des heliotropischen Reizes dürfte allgemein verbreitet sein; die Fortpflanzung geschieht bald mit größerer, bald mit geringerer Leichtigkeit, sie geht bald auf größere, bald auf geringere Entfernungen vor sich, bei den am wenigsten günstigen Objekten ist ihr Nachweis mit Schwierigkeiten verknüpft, er gelang jedoch bei allen darauf untersuchten Stengel- und Blattorganen. Es ist eine wenigstens bei heliotropischen Keimpflanzen sehr verbreitete, aber nicht ausnahmslose Erscheinung, daß die direkte heliotropische Empfindlichkeit in den verschiedenen Theilen eines Organs eine verschiedene ist; und zwar ist es bei den in Rede stehenden Objekten eine relativ kurze Spitzenregion, welcher eine größere Empfindlichkeit eigenthümlich ist. Jedoch ist die direkte heliotropische Empfindlichkeit eines Organs niemals ausschließlich auf die Spitze beschränkt, sondern sie kommt, wenn auch in geringerem Grade, der ganzen in Streckung begriffenen Region desselben zu. Es muß unterschieden werden zwischen der direkten heliotropischen Empfindlichkeit (Perzeptionsfähigkeit) und der indirekten heliotropischen Empfindlichkeit (gegen einen zugeleiteten heliotropischen Reiz). Beide können sich summiren, und die Summe derselben stellt die gesammte heliotropische Empfindlichkeit eines Organs oder Organtheils dar. Wachsthum und heliotropische Empfindlichkeit sind von einander vollkommen unabhängig. Die heliotropische Krümmungsfähigheit eines Organs oder Organabschnittes ist caet. par. eine Funktion seiner Wachsthumsintensität und seiner gesammten heliotropischen Empfindlichkeit, sie wird = 0, wenn einer dieser Faktoren = 0 wird. Hingegen steht sie in keiner einfachen Beziehung zur heliotropischen Perzeptionsfähigkeit des Organs, es giebt Organe, welche heliotropisch krümmungsfähig sind, obgleich ihnen die direkte heliotropische Empfindlichkeit vollkommen abgeht.»

Ein Theil dieser Sätze gilt vermuthlich mutatis mutandis für sämmtliche Reizerscheinungen. Daß auch die geotropische Empfindlichkeit im Organ ungleich vertheilt ist und sich der geotropische Reiz fortpflanzt, ist nach Analogieschluß anzunehmen und kann sogar für bestimmte Objekte zwingend bewiesen werden, indem bei den Kotylen von Avena die geotropische Krümmung zuerst in der langsamst wachsenden Spitzregion eintritt, woraus folgt, daß in dieser Region die direkte geotropische Empfindlichkeit am größten, die geotropische Perzeptionsfähigkeit also ebenso vertheilt sein muß wie die heliotropische. Und da der Verlauf der geotropischen Krümmung derselbe ist wie jener der heliotropischen, muß auch eine Fortpflanzung des geotropischen Reizes auf den Untertheil des Kotyledo stattfinden, die Brauchbarkeit der naheliegenden Idee, durch Abschneiden der Spitze in's Reine zu kommen, scheitert daran, daß durch das Köpfen eines Organs die Eigenschaften des Stumpfes selbst eine wesentliche Veränderung erleiden können. Es ist deshalb unzulässig, durch Abschneiden eines Organtheils ermitteln zu wollen, ob letzterer auf die Eigenschaften des übrigen Theils einen Einfluß ausübt. *C. K.*

***W. Broocks.* Ueber tägliche und stündliche Assimilation einiger Kulturpflanzen.** Inaug.-Dissert. Halle a. S. 1892. Bot. Zentralblatt. Von *O. Uhlworm.* Bd. LI. Nr. 5/6. S. 182.

Verf. operirte mit Kohlrüben, Wasserrüben, Hafer, Pferdebohnen, Kartoffeln, Topinambour, Zuckerrüben, Sommerweizen, Futterrüben, Mais.

Die Versuchspflanzen wurden Tagesversuchen unterworfen, dann auf zwei Perioden vermehrt pro Tag Morgens 6 bis Mittags 12 und von da bis Abends 6 Uhr, dann in drei Perioden untersucht 6—10 Uhr Vormittags, 10—2 Uhr Mittags, 2—6 Uhr Abends; Nachtversuche liefen von Abends 6 Uhr bis Morgens 6 Uhr, bezw. in 2—3 Perioden; die Tagesversuche werden dann auf 10 Perioden ausgedehnt.

Als Resultat ergiebt sich Folgendes:

1) Grüne Blätter im Freien wachsender Pflanzen vermehrten im Sommer während des Tages ihre Trockensubstanz, welche der Hauptsache nach aus organischen, nur zum geringen Theil aus Aschenbestandtheilen besteht. Die Zunahme hängt von der Intensität und Dauer der Beleuchtung und von der Temperatur ab. Bei niedriger Temperatur und stark bedecktem Himmel war dieselbe sehr gering, oder es trat sogar eine kleine Abnahme ein.

2) Bei wolkenlosem Himmel fand die größte Zunahme in der ersten Tageshälfte (6—12), oder, den Tag in drei Perioden getheilt, im mittleren Tagesdrittel (10—2) statt. Bei wechselnder Beleuchtung erfolgte dieselbe bald Vormittags, bald Nachmittags, oder auch im ersten, zweiten oder letzten Drittel des Tages.

3) Die größte stündliche Zunahme erfolgte an wolkenfreien Tagen von 11 bis 12 Uhr Vormittags; das Maximum der Tageszunahme war an solchen Tagen um 12 Uhr Mittags erreicht. An Tagen mit wechselnder Beleuchtung dagegen fiel die größte stündliche Zunahme auf eine Vormittags-, auch Nachmittagsstunde, ebenso die höchste Tageszunahme.

4) Das Maximum der Tageszunahme läßt sich demnach nur durch stündliche Versuche feststellen, einfache Tagesversuche genügen hierzu nicht; halbe

Tagesversuche geben nur dann ein annähernd richtiges Ergebniß, wenn der ganze Tag wolkenfrei ist.

5) Während der Nacht ergab sich stets eine Abnahme, welche bei hoher Temperatur schneller als bei niedriger erfolgte. Dieselbe war in der ersten Nachthälfte (6—12 Uhr) bedeutender als in der zweiten (12—6 Uhr). Ob in der zweiten Nachthälfte noch eine kleine Abnahme oder schon eine geringe Zunahme sich erweist, scheint wesentlich von der Beleuchtung in den ersten Morgenstunden mit abzuhängen.

***H. Jumelle.* Neue Untersuchungen über die Assimilation und Chlorophyll-Transpiration.** Revue générale de botanique. T. III. 1890. Nr. 30 et 31. — Botan. Zentralblatt. Von *O. Uhlworm.* Bd. XLIX. 1892. S. 139.

Im Anschluß an seine früheren Untersuchungen über das gleiche Thema (diese Zeitschrift. Bd. XII. S. 325) theilt hier Verf. einige Versuche mit chlorophyllfreien Pflanzen und Organen mit und antwortet auf die Arbeit von *E.* u. *J. Verschaffelt* (über die Transpiration der Pflanzen in kohlensäurefreier Luft. Diese Zeitschrift. Bd. XIII. S. 416), welche zu erheblich anderen Resultaten bei Nachprüfung seiner Experimente gekommen waren. Verf. hält seine früheren Angaben im ganzen Umfange aufrecht. Die Abwesenheit der Kohlensäure in einer Atmosphäre, in welcher sich eine Pflanze am Lichte befindet, beschleunigt die Transpiration dieser Pflanze, was übrigens *E.* u. *J. Verschaffelt* bestätigen. Dagegen soll nach Letzteren auch in Dunkelheit der gleiche Effekt beobachtet werden und in Folge dessen die Steigerung der Transpiration einer Pflanze am Licht und im kohlensäurefreien Raum nicht durch die Hemmung der Assimilation, sondern durch irgend eine andere unbekannte Ursache bedingt sein. Den Grund für diese gegentheilige Angabe sieht Verf. darin, daß seine Gegner die Fehlergrenzen ihrer Versuche nicht im Voraus bestimmt hätten und daß sie in Folge dessen Zahlen als verschieden betrachtet hätten, die es in der That nicht sind. Verf. glaubt seine Ansicht durch drei verschiedene Methoden bewiesen, durch die oben genannte, durch die Methode der Anaesthetica, durch welche die Chlorophyllfunktion gelähmt wird und selbst bei Gegenwart von Kohlensäure und Licht eine erhebliche Steigerung der Transpiration zu Stande kommen läßt und endlich durch die dritte hier mitgetheilte, welche lehrt, daß die Gegenwart von Kohlensäure in einer Atmosphäre, in welcher sich eine Pflanze am Lichte befindet, die Transpiration nicht beeinflußt, falls diese Pflanze chlorophyllfrei ist. Der Einfluß der Kohlensäure äußert sich also ausschließlich auf die Chlorophyll-Transpiration und wenn am Lichte die Abwesenheit der Kohlensäure eine Steigerung der Transpiration der Pflanzen oder grünen Theile zur Folge hat, so ist diese Steigerung dadurch zu erklären, daß die Energie der vom Chlorophyll absorbirten Sonnenstrahlen sich ganz auf die Transpiration wirft, wenn sie nicht mehr zur Zersetzung der Kohlensäure Verwendung finden kann.

***J. Leicester.* Die Einwirkung elektrischer Ströme auf das Wachsthum von Samen und Pflanzen.** Chem. Zentralblatt. 1892. Bd. I. Nr. 11. S. 486.

In Kästen, die mit Erdboden gefüllt waren, wurde eine einen Quadratfuß große Zink- und in einer Entfernung von 2½ Fuß eine ebenso große Kupferplatte gebracht und außerhalb des Erdbodens leitend verbunden. Verf. beobachtete, daß in solchen Kästen Samen und Pflanzen schneller wuchsen als in Kontrolkästen ohne die Metallplatten; namentlich bei Hanfsamen war der Unterschied des Wachsthums ein sehr bedeutender. Wurde zur Bewässerung stark verdünnte Essigsäure angewandt, so erfolgte eine Beschleunigung des Wachsthums in den Kästen mit den Metallplatten, keine Beschleunigung in den Kontrolkästen. Verf. führt dies auf eine Verstärkung des elektrischen Stromes durch die Gegenwart der Säure zurück.[1])

W. Detmer. **Untersuchungen über intramolekulare Athmung der Pflanzen.** Berichte d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. X. H. 4. S. 201—205.

Nach Untersuchungen von *Amm* (mit Keimpflanzen von Triticum vulgare und Lupinus luteus im Alter von 4—5 Tagen) ist die intramolekulare Athmung ebenso wie die normale schon bei 0° ziemlich ausgiebig. Mit der Temperatur wächst die Kohlensäureausscheidung, aber in anderem Verhältnisse als bei normaler Athmung, das Temperaturoptimum liegt für beide Fälle bei 40° C. Die Temperatur bei der die Athmung mit zunehmender Wärme die relativ erheblichste Steigerung erfährt, liegt für die intramolekulare Athmung bei 40°, für die normale Athmung tiefer (bei 25 resp. 30° C.). Das Temperaturmaximum (die höchste Temperatur, bei der die Pflanzen noch athmen, ohne daß bereits Zellen abgestorben sind) ist ziemlich schwierig genau festzustellen, liegt aber oft sicher erheblich höher als das Temperaturoptimum. Stets ist die Kohlensäureproduktion bei intramolekularer Athmung der genannten Versuchsobjekte geringer als bei normaler Athmung, das Verhältniß ist aber für verschiedene Temperaturen nicht konstant.

Auch über das Verhältniß der normalen zur intramolekularen Athmung bei verschiedenem Entwickelungszustande der Pflanzen wurden Versuche (mit Lupinenkeimlingen im Alter von 3—9 Tagen) angestellt. Das Verhältniß verringerte sich mit dem Alter von 0,553 auf 0,640. *C. K.*

B. Frank. **Ueber die auf den Gasaustausch bezüglichen Einrichtungen und Thätigkeiten der Wurzelknöllchen der Leguminosen.** Berichte der Deutsch. Botan. Gesellschaft. Bd. X. Heft 5. S. 271—281.

Die Korkhaut der Knöllchen hat luftführende Interzellulargänge, welche mit der Außenluft direkt kommuniziren, es kann die ganze Korkhülle als eine einzige Lentizelle aufgefaßt werden. Das System der luftführenden Interzellulargänge geht kontinuirlich durch das Rindengewebe des Knöllchens und reicht bis zur Außenseite des Meristems. Letzteres aber hat keine luftführenden Interzellularen, wohl aber das Bakteroidengewebe von da ab, wo es aus dem Meristem hervorgeht. Während die luftführende Rinde rings um das ganze Knöllchen geht, ist das luftführende Bakteroidengewebe durch luftfreies Gewebe von der Kommunikation mit

---

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 88.

der Außenluft abgeschlossen. Da die Luft in den betreffenden Interzellularen auch bei der Entstehung der Knöllchen unter Wasser erscheint, muß sie von der Pflanze selbst abgeschieden werden. Auch bei den im Erdboden wachsenden Wurzelknöllchen macht das Umhülltsein mit Luft den Eindruck, als käme es darauf an, die Berührung der Knöllchen mit der Feuchtigkeit des Bodens zu verhindern und sie vielmehr im Kontakt mit Luft zu erhalten. Daß der Kontakt der Knöllchen mit Luft angestrebt wird, «zeigt sich auch in der Bevorzugung der der Bodenoberfläche nahe gelegenen Wurzeltheile seitens der Knöllchen». Die Luft in den Knöllchen hat wohl nur dieselbe Bedeutung wie diejenige, welche allgemein in parenchymatischen Geweben aufzutreten pflegt. Ueber die Zusammensetzung der Knöllchenluft ließ sich nur soviel ausfindig machen, daß sie weder rein aus Kohlensäure, noch rein aus Sauerstoff bestehen kann, sondern mindestens sehr reich an Stickstoff sein muß. Anhaltspunkte dafür, daß in den Knöllchen gasförmiger Stickstoff verzehrt wird, ließen sich nicht finden.

Bei Versuchen, den Gasaustausch der lebenden Knöllchen zu verfolgen, äußerte sich sehr bald eine lebhafte Gasentbindung, wobei außer Kohlensäure auch Stickstoff ausgeschieden wurde und auch der Sauerstoff zunahm. Es scheint sich hierbei nicht um einen normalen Lebensakt, sondern um beginnendes Absterben zu handeln. Die Wurzelknöllchen sind hinsichtlich ihrer Lebensthätigkeit sehr empfindliche Organe, die nur im ungestörten Verbande mit der Pflanze normal arbeiten, und dürfte es nicht gelingen, die normalen Prozesse, welche sich in ihnen abspielen, für sich allein dem Experimente zugänglich zu machen.

C. K.

***G. Curtel.* Untersuchungen über die Veränderungen in der Transspiration der Blüthe während ihrer Entwickelung.** Compt. rend. T. CXIV. No. 14. p. 847. — Botan. Zentralbl. Von *O. Uhlworm.* Bd. LI. No. 5/6. S. 159.

Verf. operirte nur mit Objekten, welche einen langen Blüthenstiel besaßen. Diesen führte er in eine am unteren Ende verschlossene, mit Wasser gefüllte Glasröhre ein, deren oberes Ende so beschaffen war, daß der Stiel eben noch hindurchging. Mit Hilfe einiger Tropfen Wachs konnte die Röhre schließlich vollkommen geschlossen werden.

Diese Vorrichtung wurde nun gewogen; das gefundene Gewicht sei p. Dann wurde das Versuchsobjekt mehrere Stunden lang dem diffusen Licht ausgesetzt, wieder gewogen und das gefundene Gewicht mit p_1 bezeichnet. Die Differenz p und p_1 giebt also das Gewicht des exhalirten Wassers an. Nun wurde die Knospe oder Blüthe da, wo der Stiel die Glasröhre verließ, abgeschnitten, ebenfalls gewogen und ihr Gewicht zu dem exhalirten Wasser in Beziehung gebracht.

Als Versuchsobjekte führten Verf. an: Galtonia candicans, Fuchsia coccinea und Anemone du Japon.

Die Versuche zeigten, daß die im jugendlichen Alter sehr starke Transspiration später abnimmt und ein Minimum erreicht bei mittlerer Größe der Knospe. In dieser Zeit hat sich nämlich deren Epidermis verdickt und eine mehr oder weniger dicke und undurchdringliche Cuticula gebildet. Sobald sie aber die mittlere Größe überschreitet, vergrößert sich ihre Oberfläche sehr schnell; wo

Spaltöffnungen vorhanden sind, treten sie jetzt auf; die Transpiration wächst bedeutend. Oeffnet sich nun die Blüthe vollends, so nimmt natürlich, zu Folge der größeren transpirirenden Fläche, die Transpiration zu und erhält sich sogar während des Abwelkens, bis zum Absterben der Blüthe, auf gleicher Höhe. Eine Transpiration im eigentlichen Sinne ist diese letztere Erscheinung wohl allerdings nicht, denn sie tritt ja erst nach dem Tode, in Folge der nunmehrigen Permeabilität des Protoplasmaschlauches für das in den Gefäßen eingeschlossene Wasser, ein.

Verf. faßt seine Resultate etwa in Folgendem zusammen: Die Transpiration einer Blüthe ist verschieden und abhängig von deren größerer oder geringerer Entfaltung. Intensiv bei der sehr jungen Knospe, nimmt sie nach und nach ab, wird aber von da an, wo die Knospe das Maximum ihres Wachsthums erreicht hat und im Begriffe ist, aufzubrechen, wieder lebhafter. Ist die Entfaltung eingetreten, so bleibt die Transpiration der Blüthe bis zum Tode sehr intensiv.

***K. Leist.* Ueber den Einfluß des alpinen Standortes auf die Ausbildung der Laubblätter.** Mitth. d. naturf. Ges. in Bern. 1889. Nr. 1215 bis 1248. — Naturw. Rundschau. 1892. Nr. 22. S. 278.

Die Eigenthümlichkeiten, die den besonderen physiognomischen Ausdruck der alpinen Flora veranlassen, sind schon oft beschrieben und in ihren Beziehungen zum Klima behandelt worden. Durch die in der vorliegenden Arbeit mitgetheilten Untersuchungen sollte festgestellt werden, ob auch der anatomische Bau der Alpenpflanzen, speziell ihrer Blätter, charakteristische Veränderungen erleide.

Es wurden nur solche Blätter untersucht, deren Assimilationsgewebe aus den zwei verschiedenen Zelltypen, Pallisaden- und Schwammzellen, zusammengesetzt ist; außerdem wurde streng darauf gehalten, daß immer nur Sonnenblätter mit Sonnenblättern, und Schattenblätter mit Schattenblättern verglichen wurden.

Als erstes Ergebniß stellte sich heraus, daß die alpinen Blätter den in der Ebene gewachsenen an Dicke nachstehen. «Es wird zwar als eine charakteristische Eigenthümlichkeit der alpinen Vegetation Dickblätterigkeit angegeben, und es ist wohl auch richtig, daß unter den alpinen Pflanzen solche mit dicken fleischigen Blättern weniger selten sind als in der Ebene. Die nämliche Pflanze bildet jedoch unter sonst gleichen Verhältnissen in der Ebene dickere Blätter aus als in der Alpenregion.» Nur die Kartoffel machte unter den vom Verf. untersuchten Pflanzen eine Ausnahme von dieser Regel; ihre Blätter waren an höheren Standorten durchgehends ebenso dick oder dicker als in der Ebene.

Mit der Abnahme der Dicke Hand in Hand geht sehr oft eine Zunahme der Flächenentwickelung. Dicke und Blattgröße sind bis auf einen gewissen Grad umgekehrt proportional. Zu diesen Unterschieden kommen noch solche in dem Gewebe des Blattes, namentlich im Bau des typischen Assimilationsgewebes der Pallisaden. Die Pallisadenzellen sind in der Höhe nicht so langgestreckt wie in der Ebene, bilden auch häufiger weniger Zellschichten als dort und fehlen unter Umständen ganz. Isolaterale Blätter, die also nicht nur auf der Oberseite, sondern auch auf der Unterseite Pallisaden haben, zeigen in der Höhe nicht selten

bifacialen Bau, indem die Pallisaden der Unterseite durch Abnahme des Längendurchmessers ihre typische gestreckte Form eingebüßt haben.

Mit der Höhe wird auch das Gefüge der Pallisadenzellen weniger fest, Zahl und Größe der Interzellularräume nehmen zu und sind bei alpinen Blättern oft auf dem Querschnitt nicht weniger breit als die anliegenden Zellen. In gleicher Weise wird auch das Schwammgewebe mit der Höhe lockerer.

Nun hat *Stahl* gezeigt, daß Blätter schattiger Standorte durch größere Flächenentwickelung, geringere Dicke, minder starke Ausbildung des Pallisadengewebes und Größenzunahme der Interzellularräume von den im direkten Sonnenlicht gewachsenen sich unterscheiden. Eine Vergleichung dieser Eigenthümlichkeiten mit denen alpiner Pflanzen führt zu dem überraschenden Ergebniß, daß die in den Alpen an freien, sonnigen Standorten gewachsenen Blätter in der Form und im Bau des Assimilationsgewebes mit den Schattenblättern übereinstimmen.

Diese Regel läßt jedoch einige Ausnahmen zu. Auch ist die Parallele zwischen alpinen Blättern und Schattenblättern insofern unvollständig, als die Cuticula bei Schattenpflanzen viel weniger entwickelt ist als bei Sonnenpflanzen, bei alpinen Pflanzen jedoch derjenigen der Sonnenpflanzen der Tiefregion mindestens gleichsteht, häufig sogar sie an Dicke übertrifft.

Um die Ursache der Uebereinstimmung im Bau der Schattenpflanzen und der alpinen Pflanzen festzustellen, sucht Verf. zunächst durch Versuche zu ermitteln, welche Faktoren die Struktur des Schattenblattes bedingen. Er konnte durch Versuche mit Saxifraga cuneifolia das bereits von *Vesque* und *Ebert* gefundene Ergebniß bestätigen, daß eine Verlängerung der Pallisadenzellen und eine Vermehrung ihrer Schichten bei den Sonnenblättern durch starke Transpiration herbeigeführt wird, während bei verminderter Transpiration die Pallisadenzellen kürzer und weiter und die Zahl der Pallisadenschichten geringer wird.

Neben der wegen großer Luftfeuchtigkeit verminderten Transpiration wirkt nach einem Versuch von *Ebert* auch große Bodenfeuchtigkeit, selbst bei ganz trockener Luft, in ähnlichem Sinne auf den Bau des Blattes ein. Verf. kommt daher zu dem Schluß, daß der abweichende Bau des Schattenblattes durch herabgesetzte Transpiration und größere Bodenfeuchtigkeit veranlaßt wird.

Diesen Schluß überträgt Verf. auch auf die Alpenblätter und zeigt, daß die klimatischen Verhältnisse in den Alpen denselben rechtfertigen. Die Behauptung, daß die Alpenblätter weniger transpiriren, scheint auf den ersten Blick im Widerspruch zu stehen mit der bekannten Evaporationskraft des Hochgebirges, die auf dem verminderten Luftdruck und der verlängerten Insolation beruht. Verf. macht aber geltend, daß für die vorliegende Frage nur die Sommermonate, in denen das Wachsthum der Pflanzen stattfindet, April bis August, in Betracht kommen. In dieser Zeit ist die Luft auf den Höhen fast konstant mit Wasserdampf gesättigt; über den tiefen Regionen, die im Sommer nebelfrei sind, schwebt in den Alpen als normale Erscheinung ein Wolkengürtel, der mit dem schmelzenden Schnee allmählich ansteigt und im Hochsommer auf die Alpenregion beschränkt bleibt. Bestätigt werden diese Angaben durch die vom Verf. mitgetheilten Beobachtungen über die Zahl der Nebeltage, die Summen der Sonnenscheindauer u. s. w. an verschiedenen Stationen in der Ebene und im Hochgebirge.

Ebenso wird auch dem Boden in den Alpen eine sehr große Feuchtigkeit, wenigstens in der Zeit, in der die meisten Blätter zur Entwickelung kommen, nicht abgesprochen werden können. In der Höhe fangen die Blätter unmittelbar nach dem Schwinden des Schnees, ja oft unter demselben, zu treiben an, zu einer Zeit, da der Boden noch ganz vom Schneewasser trieft. Auch später hält der Boden, in dem alle diese Pflanzen wurzeln und dem sie ihre Nahrung entnehmen, nicht nur von dem Schneewasser der dicken Schneedecke und den aus den Schneelagern rieselnden Wasserquellen, sondern auch von reichlichen atmosphärischen Niederschlägen des Sommers, die mit der Höhe sehr zunehmen, große Mengen zurück.

Mit diesen Angaben stimmt die Thatsache überein, daß die Alpenpflanzen, wenn sie in der Ebene kultivirt werden, sehr oft und reichlich begossen werden müssen und unerbittlich zu Grunde gehen, wenn man dies nur ein einziges Mal unterläßt, wenn ihre Wurzelfasern auch nur einmal trocken werden.

Ferner steht mit den geschilderten Thatsachen in Einklang die Erscheinung, daß Pflanzen, welche in der Niederung nur an sehr nassen Orten gedeihen, in der Höhe ziemlich allgemein verbreitet sind, wie Parnassia palustris, und daß andere, welche in der Tiefe nie aus dem Schatten des Waldes sich hinauswagen, in der alpinen Region an freien, sonnigen Stellen mit dem gleichen Umfang ihrer Blätter und ganz gleichem Bau des Assimilationsgewebes vorkommen.

Daß die alpinen Blätter eine wohl entwickelte Cuticula haben, scheint vorläufig nicht recht vereinbar mit der angenommenen Luftfeuchtigkeit. Denn an feuchten und schattigen Standorten der Tiefregion erscheint in den Blättern die Außenwand der Epidermiszellen nur wenig dicker als die Innenwand und es bildet die Cuticula nur eine dünne Schicht. Jedenfalls bedarf das Verhalten der Cuticula noch näherer Untersuchung. Da sich aber in vielen Fällen die Cuticula erst ausbildet, wenn das Blatt im Uebrigen seine definitive Ausbildung erlangt hat, so glaubt Verf., daß das Verhalten der Cuticula auf Assimilationsverhältnisse zurückzuführen sei.

***J. Wiesner*. Die Elementarstruktur und das Wachsthum der lebenden Substanz.** Wien 1892 bei A. Hölder. 282 S.

In diesem Werke macht Verf. den Versuch, eine Hypothese über den elementaren Bau und das Wachsthum der lebenden Substanz zu begründen und auf dieser Grundlage zu einer einheitlichen Auffassung von Bau und Wesen der organisirten Gebilde zu gelangen. Das Werk behandelt:

1) Geschichte und Kritik der bisher unternommenen Versuche, den elementaren Bau und das Wachsthum der lebenden Substanz aufzuklären.
2) Die Bedeutung der Theilung für das Leben und die Grenzen der Theilungsfähigkeit der lebenden Substanz.
3) Die Elementarstruktur der Organismen.
4) Das Wachsthum.

Bei dem Umfange des Werkes muß sich Ref. damit begnügen, die Hypothesen des Verf. im Allgemeinen zu kennzeichnen.

1) Die bisher und zur Zeit üblichen Bestrebungen, die Organismen mit den Anorganismen unter einen einheitlichen Gesichtspunkt zu bringen und wo möglich das Lebende nur als eine spezielle Form des Leblosen hinzustellen, haben den feinsten Bau der Organismen oder das Wachsthum der lebenden Substanz dem Verständnisse nicht näher gebracht, vielmehr hat sich die Kluft, welche die belebten Wesen von der leblosen Substanz trennt, um so mehr erweitert, je eingehender die Kenntniß von den Organismen geworden ist. Bei der gegenwärtigen Sachlage ist es unmöglich, durch Heranziehung des Leblosen Form und Funktion des für das Lebende Spezifischen verständlich zu machen. Uebereinstimmungen bestehen ja in gewissen Eigenschaften, aber nicht in den spezifischen Eigenthümlichkeiten der Organismen: Assimilation, organisches Wachsthum, Fortpflanzung, Erblichkeit, Entwickelungsfähigkeit. Es war für die Lehre von der Elementarstruktur und dem Wachsthum der lebenden Wesen sehr hemmend, daß man dort, wo die sichtbare organische Struktur aufhört, sofort eine Molekularstruktur annahm und von dieser aus die Vorgänge des Wachsens und Lebens überhaupt zu erklären versuchte. Ueber die Molekularstruktur ist noch gar nichts Bestimmtes auszusagen, dieselbe liegt völlig im Dunkeln, was verständlich ist, wenn man bedenkt, daß alles Organisirte eine komplexe chemische Zusammensetzung hat, daß auf kleinem Raume eine Menge chemischer Individuen neben einander liegen, und daß die meisten dieser chemischen Spezies hoch zusammengesetzte Körper sind.

2) Alle Organismen haben gewisse gemeinschaftliche Grundzüge, worunter die Theilung. Die Organe entstehen aus Theilung der Zellen, die letzteren durch Theilung aus einander, die Kerne entstehen durch Theilung aus Kernen, ebenso die innerhalb der Zellen auftretenden Individualitäten; niemals entstehen sie spontan. Aus dieser großen Bedeutung und ausgedehnten Wirksamkeit der Theilung läßt sich schließen, daß es im Organismus noch Theilungsvorgänge giebt, die bisher der direkten Wahrnehmung entgehen. Die Zelle setzt sich in allen ihren lebenden Theilen (einschließlich der Haut) aus theilungsfähigen Körpern zusammen, durch deren Theilung das Wachsthum vermittelt wird, und an die alle Vorgänge des Lebens innerhalb des Organismus geknüpft sind. Die letzten lebenden Theilkörper der lebenden Substanz betrachtet Verf. als die wahren Elementarorgane der lebenden Wesen und benennt sie Plasome. Den Plasomen sind die drei Grundeigenthümlichkeiten der lebenden Substanz zuzusprechen: Theilung, Wachsthum, Assimilation. Dadurch daß die Plasomen wachsen und sich theilen, wachsen Protoplasma, Kern, Zellhaut, überhaupt alle organisirten Theile der Zellen. Das Schema der Organisation, nach welchem die Pflanze aufgebaut ist, wäre demnach: Organ — Gewebe — Zelle — Plasom.

3) Ob die Plasome direkt sichtbar oder sichtbar zu machen sind, läßt sich nicht mit Sicherheit beantworten, indem nicht bestimmt zu entscheiden ist, ob die kleinsten, eben noch wahrnehmbaren, homogen erscheinenden Theilkörper in den Zellen Plasome oder Plasomgruppen sind. Jedenfalls existiren Plasome, welche mit den besten optischen Hülfsmitteln nicht zu unterscheiden sind. Nicht selten scheinen die Plasome nach Beendigung der Theilung stark zu wachsen und sich dann in Dauerzustände (Dermatosomen, Plasmakörnchen u. s. w.) zu verwandeln. Fibrilläre, im Plasma auftretende Gebilde u. dgl. sind wahrscheinlich auf Fusionen von Plasomen zurückzuführen. Jedenfalls ist die Verbindung der Plasome unter einander eine

verschiedene, wie schon die fibrilläre oder netzförmige oder wabenartige Struktur der Zelltheile vermuthen läßt. Am klarsten kommt die Verbindung der Plasome in der Zellhaut und zwar in den häufigen Fällen zur Anschauung, in welchen dieselbe geschichtet oder gestreift erscheint. Die Plasome des Dermatoplasmas haben im Wesentlichen dieselbe gegenseitige Lage, welche später die Dermatosome einnehmen. Im Laufe des Lebens werden auch die Plasome ihre gegenseitige Lage mannigfach verändern.

4) Die innere Ausgestaltung des Plasoms ist uns noch völlig unbekannt. Es kann nicht angenommen werden, daß es eine gleichartige, den Krystallcharakter besitzende Molekülgruppe sei, wie das *Nägeli*'sche Micell, vielmehr hat man sich darunter einen Mechanismus zu denken, der während seiner mechanischen Thätigkeit auch chemisch wirksam ist. Zwischen Atom und Molekül einerseits, Plasom andererseits bestehen zunächst dieselben Unterschiede wie zwischen Anorganismen und Organismen. Der wichtigste Unterschied zwischen beiden liegt darin, daß die Atome und Moleküle unter konstanten äußeren Bedingungen unveränderlich und unter allen Umständen unentwickelungsfähig, die Plasome selbst unter konstanten äußeren Verhältnissen veränderlich und entwickelungsfähig sind.

Das Werk wird bei der Wichtigkeit der darin behandelten Fragen nicht verfehlen, in hohem Grade anregend zu wirken; aber auch an Widerspruch wird es nicht fehlen, da sich Verf. in den wesentlichsten Punkten in Gegensatz zu herrschenden Anschauungen setzt. *C. K.*

***B. Stange.* Beziehungen zwischen Substratkonzentration, Turgor und Wachsthum bei einigen phanerogamen Pflanzen.** Botanische Zeitung 1892. Nr. 16—27.

1) Substratkonzentration und osmotischer Druck.

Zu den Versuchen dienten Kalisalpeter und Chlornatrium, sowie Glyzerin. Die Kulturen wurden in Wasser oder Erde ausgeführt. Zu den in Leitungswasser oder in 0,2% *Knop*'scher Nährlösung wachsenden Pflanzen wurden die Salze allmählich durch Diffusion zugeführt. Aus den Pflanzentheilen wurden Schnitte hergestellt, welche in die zur Plamolyse zu verwendende Lösung gelegt wurden. Bezeichnet man mit c die Konzentration des Substrats in Salpeterwerthen, mit p die isotonische, zur Plamolyse verwendete Kalisalpeterlösung, mit $\frac{p}{c}$ das Verhältniß der osmotischen Leistung der Zelle gegenüber der des Substrats, mit p—c die Differenz der beiden Leistungen, mit p—n die Differenz der gesammten osmotischen Leistung der Zelle vom Normalturgor ab gerechnet (n = 0,25 Aeq. KNO_3), so ergiebt sich für die Versuche mit KNO_3:

c	p	$\frac{p}{c}$	p—c	p—n	$\frac{p-n}{c}$.
0,05	0,35	7	0,30	0,10	2
0,10	0,45	4,5	0,35	0,20	2
0,15	0,55	3,6	0,40	0,30	2
0,20	0,60	3	0,40	0,35	1,7

Die Zusammenstellung läßt entnehmen:

1) daß innerhalb gewisser Grenzen die osmotische Leistung der Zelle mit der Konzentration wächst, was jedoch aufhört, sobald p seinen höchsten Werth, also die Zelle ihre höchste osmotische Leistung, erlangt hat;

2) daß der Ueberschuß der Zelle an osmotischer Leistung gegenüber dem Außenmedium konstant steigt, bis er ein Maximum erreicht hat.

Der Quotient $\frac{p}{c}$ fällt dagegen konstant, was sagen will, daß sich das Verhältniß der osmotischen Leistung der Zelle zu der des Substrates mit höherer Konzentration zu deren Ungunsten ändert; wie die Konzentration wächst, so verliert die Zelle an osmotischer Leistungsfähigkeit.

Der absolute Ueberschuß der osmotischen Leistung der Zelle über die des Substrates, d. h. die Turgorkraft (p—c), ist mit steigender Konzentration des Substrats in stetiger Zunahme begriffen. Dem entsprechend steigt die Turgeszenz an Intensität mit der Konzentration des Substrates.

Ob p durch allmähliche Adaptation in längeren Zeiträumen einen höheren Werth bei den untersuchten Pflanzen erreicht, ist nicht entschieden. Daß Phanerogamen höhere osmotische Drucke hervorbringen, geht z. B. aus Versuchen an Chenopodium- und Atriplexarten hervor, welche, auf Salzhalten gewachsen, im Parenchym des Stengels Werthe von 1 bis 1,2 Aeq. KNO_3 haben.

Die mit Glyzerin angestellten Versuche lieferten im Ganzen dieselben Resultate wie Kalisalpeter, die benutzten Pflanzen vertragen aber eine höhere Subtratkonzentration von Glyzerin als von Kalisalpeter, weshalb auch die osmotische Leistung der Zellen in Glyzerinkulturen zu höheren Werthen ansteigt.

Bezüglich der Versuche mit NaCl ist zwischen typischen Salpeter- und Kochsalzpflanzen zu unterscheiden, die ersteren vertragen höchstens 0,25 Aeq. NaCl, die letzteren gehen schon bei 0,10 Aeq. KNO_3 im Substrat bald zu Grunde. Auf die Einzelheiten der Versuche mit NaCl kann nicht näher eingegangen werden.

2) Druckverhältnisse in den Zellen.

Dieselben können sich sehr verschieden gestalten, wie auch das Verhalten bei Konzentrationsschwankungen verschieden ist. Als kräftig gewachsene Wurzeln von Phaseolus aus einer 0,15 Aeq. KNO_3 enthaltenden Lösung in destillirtes Wasser gebracht wurden, blieben die Membranen unverletzt, obwohl die Druckdifferenz jetzt 20 Atmosphären betrug. In anderen Fällen platzen die Zellen, z. B. Haarzellen, wenn die Wurzeln von in hohen Konzentrationen gezogenen Pflanzen plötzlich in destillirtes Wasser gebracht wurden. — Auch für kryptogame Pflanzen wurden höhere Konzentrationen des Substrates ermittelt. Z. B. wurden Enteromorpha in 1,4%, Chlamydomonas maritimus in 7,38, Diatomeen in 9,4 und 14,2% Soole gefunden. Als solche Chlamydomonaszellen in destillirtes Wasser gebracht wurden, platzten sie zum Theil sofort. Bei der nämlichen Pflanze trat Ausschwärmen ein bei einer Konzentration von 17,8% NaCl.

3) Wachsthums- und Gestaltungsvorgänge.

Nach Versuchen mit Erbsen, Lupinen, Bohnen und Mais in *Knop*'scher Nährlösung + KNO_3 vermindert sich die Zuwachsgröße der Wurzeln mit steigender

Konzentration der Salzlösung, in verschiedenem Betrage bei verschiedenen Pflanzen. Ebenso vermindern sich die Zuwachse bei Stengeln. Diese Verminderung ist aber auffällig, da der Turgor und der osmotische Ueberdruck der Zellen mit steigender Konzentration wachsen, so daß man eher Zunahme des Zuwachses erwarten sollte. Hieraus folgt, daß das Wachsthum nur in bedingter Weise von der Turgorkraft abhängt. Vielleicht hat die Erhöhung der Konzentration Verminderung der Dehnbarkeit hervorgerufen oder es war die Wasserzufuhr zu den Zellen erschwert. Wurzel-, Stengel- und Blattparenchym waren vom normalen Wachsthum auffallend abweichend entwickelt. In den Salpeterkulturen höherer Konzentrationen bleiben die Blattspreiten der salpeterspeichernden Pflanzen sehr klein, in den Kochsalzkulturen erreichen die echten Halophyten in den entsprechenden isotonischen, eventuell höher konzentrirten Lösungen eine beträchtliche Oberfläche. Bei optimaler Konzentration zeigen die salpeterspeichernden Pflanzen keine vermehrte Konzentration, wohl aber erhalten verschiedene phanerogame Gewächse auf Kochsalzsubstrat einen besonderen Typus mit reicherer Parenchymbildung der Blätter, verminderter Entwickelung der Interzellularen, Vergrößerung der Parenchymzellen. In Folge dieser Parenchymbildung erreicht das Dickenwachsthum der Wurzel und des Stengels in Kochsalzacker- und Wasserkulturen bedeutende Dimensionen, ohne daß die vermehrte Parenchymbildung auf gesteigerten Turgor zurückgeführt werden kann. Die verschiedenen Pflanzen verhalten sich hinsichtlich des Substrates sehr verschieden in Längen- und Dickenwachsthum, isotonische Lösungen verschiedener Stoffe bringen unter Umständen ganz verschiedene Wachsthumseffekte hervor. Sicher ist, daß dem Turgor nur innerhalb durch andere Faktoren gezogener Grenzen eine Bedeutung im Wachsthumsprozesse zukommt, und daß nicht sowohl die Konzentration, sondern die Natur der chemischen Verbindung des Nährmediums in ganz eigenartiger Weise in die Wachsthumsvorgänge eingreift.

4) Ursache der Turgorsteigerung und des osmotischen Ueberschusses in der Zelle.

Als Annahmen kommen in Betracht Aufnahme entsprechender Menge des dargebotenen Stoffes oder Reizwirkungen der Protoplasmathätigkeit, wodurch sich der Stoffwechsel in der Weise ändert, daß die Menge osmotisch wirksamer Substanz vermehrt wird. Nach den Versuchen genügt die Menge der in die Zellen aufgenommenen Stoffe nicht zur Erklärung der Drucksteigerung, es müßten außerdem Substanzen in den Zellen in größerer Quantität auftreten. Vielleicht steht die Gegenwart größerer Mengen von Kochsalz oder Salpeter in Beziehung zur assimilatorischen Thätigkeit, die Kohlehydrate könnten bei Gegenwart der Salze in größerer Menge zu osmotisch wirksameren Substanzen verarbeitet werden. Hierdurch findet auch bei phanerogamen Gewächsen eine Anpassung an höhere Konzentrationen des Substrates statt.

5) Einfluß des Lichtes auf den Turgor.

Durch andauernde Verfinsterung erhält die osmotische Leistung der Zelle nur geringere Werthe, während durch Belichtung die Zelle bis zum Maximum ihrer osmotischen Kraft in Anspruch genommen werden kann. Die Zelle bedarf also, um entsprechend der Konzentration osmotische Leistungen hervorzubringen, der Wirkung des Lichts. Eine spezifische Wirkung des Lichts auf einen der an-

gewendeten Stoffe ist nicht vorhanden, die relativ geringe Turgorsteigerung im Dunkeln, welche niemals den Werth der Lichtkulturen erreicht, ist für alle Stoffe ungefähr die gleiche, gegenüber der Konzentration des Substrates.

6) Einfluß des Lichtes auf das Wachsthum auf konzentrirten Substraten.

Die das Wachsthum retardirende oder hemmende Wirkung der Salzlösung ist in Dunkelkulturen nicht oder nur in geringerem Maße vorhanden, wie sie die Werthe der Lichtkulturen erkennen lassen. Dies gilt für Stengel und Wurzel. Es wurde aber nicht untersucht, ob das Wachsthum der in Salzlösung gedeihenden, verfinsterten Pflanzen dieselbe Größe hat wie die verfinsterter, auf gewöhnlichem Substrate wachsender Pflanzen.

7) Ursache geringen osmotischen Druckes bei Verfinsterung und sistirter Assimilationsthätigkeit.

Diese Verminderung ist nicht allein der sistirten Assimilationsthätigkeit zuzuschreiben, sondern hauptsächlich einer verminderten Aufnahme unorganischen Materials. *C. K.*

***A. Cieslar.* Die Pflanzzeit in ihrem Einfluß auf die Entwickelung der Fichte und Weißföhre.** Mittheilungen a. d. forstl. Versuchswesen Oesterreichs. Heft XIV. Wien 1892. (Mit 9 photogr. Tafeln.)

Verf. leitet aus seinen umfangreichen Untersuchungen folgende für die forstliche Praxis wichtige Schlußfolgerungen ab, dabei bemerkend, daß diese zuvörderst nur für die Fichte, Weiß- und Schwarzföhre Giltigkeit haben.

1) Die Verluste der verschiedenen Monatspflanzungen im Jahre der Kultur selbst steigen in unseren Breiten vom April bis zum Juli oder August in stetiger Kurve, um sodann zum Oktober hin zu fallen.

2) Die Zunahme der Eingänge in den einzelnen Monatspflanzungen ist in dem der Kultur folgenden Jahre eine von der Frühjahrskultur zur Herbstpflanzung hin im Allgemeinen steigende, so zwar, daß die Kurve der Verlustprozente, welche im ersten Jahre vom Juli oder August gegen den Herbst zu stark fiel, im zweiten Jahre bei der Fichte in derselben Periode nur wenig fällt, bei der Weißföhre aber stark ansteigt.

3) Die Wachsthumsleistungen (Jahrestrieblängen, Massenzunahme und allgemeiner Gesundheitszustand) der Pflanzen aus den verschiedenen Monatskulturen sind in den der Pflanzung folgenden Jahren um so geringer, je später im Jahre die Pflanzkultur vorgenommen wurde. Die Unterschiede sind im Allgemeinen so bedeutende, daß sie die vollste Würdigung der forstlichen Praxis beanspruchen dürfen. Die im zweiten Jahre nach der Kultur von der Frühjahrs- zur Herbstpflanzung sich steigernde Zunahme der Verlustprozente (cf. Punkt 2) hängt mit den Wachsthumsleistungen dieser selben Periode innig zusammen.

4) Ein Anwachsen der Kulturen im Jahre der Pflanzung kann nur dann stattfinden, wenn das Versetzen spätestens Ende August bis Mitte September erfolgt.

5) Durch eine späte Pflanzung im Nachsommer oder Herbst wird das Wurzelsystem in einen krankhaften Zustand gebracht, daß zu fürchten steht, die

Pflanzenindividuen könnten aus diesem Zustande für ihr weiteres Leben einen irreparablen Schaden davontragen.

6) Die Herbstpflanzung ist aus der forstlichen Praxis ganz zu verbannen, weil sie gegenüber der Frühjahrskultur gar keine Vortheile in sich schließt, und selbst auf nassen Standorten die Pflanzung mit größerem Erfolg im Vorsommer durchgeführt werden kann als im Herbst. In allen jenen Fällen, in welchen man im Frühjahr selbst mit der Pflanzung nicht fertig werden kann, dehne man lieber die Kulturzeit bis Ende Mai aus oder vollende die Kultur erst im nächsten Frühjahr, da die geringen Wachsthumsleistungen der Herbstkulturen in den der Pflanzung folgenden Jahren den Verlust des einjährigen Zuwachses bei Weitem überwiegen und überdies die Herbstpflanzungen stets höhere Verluste aufweisen als Frühjahrskulturen, hier also auch das finanzielle Moment stark zu Gunsten der Frühjahrspflanzung ins Gewicht fällt. Auch etwa nothwendig werdende Nachbesserungen vollführe man erst in folgendem Frühjahr, nachdem überdies die Kultur während des Winters Gelegenheit gefunden hatte, alle ihre Schwächen zu offenbaren.

7) Die beste Pflanzzeit für Fichte und Föhre bleibt das Frühjahr. Die Fichte und Schwarzföhre lassen sich da vor dem Antreiben und auch eine kurze, immerhin bis zwei Wochen dauernde Zeit nach Beginn des Triebes mit beinahe gleichem Gesammtkulturerfolge versetzen. Die Weißföhre verträgt die Ausdehnung der Pflanzzeit weit über den Triebbeginn hinaus unverhältnißmäßig schlechter.

8) Die Weißföhre ist gegen eine unzeitige Pflanzung, wie überhaupt gegen die Eingriffe des Pflanzaktes bedeutend empfindlicher als Fichte und Schwarzföhre.

E. W.

***J. Wiesner.* Eine Bemerkung zu *Pfeffer's* Energetik der Pflanze.** Bot. Zeitung. 1892. Nr. 29.

Vergl. diese Zeitschrift. Bd. XV. S. 290.

***L. Jost.* Ueber *R. Hartig's* Theorie des Dickenwachsthums und der Jahresringbildung.** Bot. Zeitung. 1892. Nr. 30 u. 31.

Vergl. diese Zeitschrift. Bd. XIV. S. 447. Bd. XV. S. 295.

***F. Houdaille.* Mesure de l'évaporation diurne. Description de l'évapomètre enregistreur.** Ann. de l'école nat. d'agricult. de Montpellier. 1891.

***J. Sachs.* Physiologische Notizen. III. Wurzelstudien.** Vorläufige Mittheilung. Flora. 1892. Heft 2. S. 171.

***B. Frank.* Ueber die auf Verdauung von Pilzen abzielende Symbiose der mit endotrophen Mikorrhizen begabten Pflanzen,** sowie der Leguminosen und Erlen. Ber. d. Deutschen Bot. Gesellsch. Bd. IX. S. 244—258.

***G. Marek.* Die Verbesserung der Kartoffelsorten durch Auswahl stärkereicher Mutterknollen.** *Fühling's* landw. Zeitung. 1892. Heft 5 u. 6.

***J. Pohl.* Elemente der landwirthschaftlichen Pflanzenphysiologie.** Wien. 1892. A. Pichler's Wittwe und Sohn.

III. Agrar-Meteorologie.

Neue Litteratur.

J. von Lorenz-Liburnau. **Resultate forstlich-meteorologischer Beobachtungen, insbesondere aus den Jahren 1885—1887. II. Theil. Beobachtungen an den Radialstationen in Galizisch-Podolien, dem nordkarpatischen Vorlande und auf dem Thaya-Plateau in Niederösterreich.** Unter Mitarbeit von *F. Eckert.* Mittheilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs. XIII. Heft. Wien 1892. W. Frick.

Bei Zusammenfassung der Resultate aus allen (drei) Stationsgruppen gelangt Verf. in seiner umfangreichen, 447 Seiten Imp.-Form. umfassenden, mit zahlreichen Tabellen, Tafeln und Karten versehenen Arbeit zu folgenden Schlußfolgerungen:

A. Rückweisung auf die Resultate des I. Theiles.[1]

Schon unsere früheren Untersuchungen haben einige Resultate ergeben, welche wesentliche Grundlagen für die im gegenwärtigen II. Theile zu behandelnden Fragen geboten haben. Solche Resultate sind insbesondere die folgenden:

a) daß die Kronen der Waldbäume je nach den verschiedenen Gattungen derselben mehr oder minder bedeutende Quantitäten von Wasserdampf durch Transpiration an die Luft mittheilen;

b) daß diese Quantitäten in der Luft unmittelbar an und über den Kronen und in ihrer nächsten Umgebung nachweisbar sind;

c) daß der Gang der Temperatur in und unmittelbar über den Kronen in der täglichen und jahrzeitlichen Periode ein charakteristischer ist und nicht durchwegs in einer Abkühlung, sondern unter bestimmten Umständen auch in einer Erhöhung der Temperatur besteht;

d) daß dieses eigenthümliche Verhalten der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit in der Kronenregion eines Waldes sich auf gewisse Entfernungen hin auch der Umgebung mittheilt.

Die unter b) c) und d) erwähnten Resultate, die sich durch Einführung einer von der bisherigen statistischen Methode zur Erforschung der klimatischen Wirkung des Waldes verschiedenen Beobachtungsweise herausstellten, haben uns als die

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XIV. 1891. S. 161.

wesentlichsten Erklärungsgründe für die Ergebnisse an den Radialstationen gedient und wir werden aus diesem Grunde auch in diesem allgemeinen Resumé wiederholt auf diese Momente zurückgreifen.

B. Resultate aus den Radialstationen.

Wenn wir die Ergebnisse unserer in diesem Hefte behandelten Beobachtungen kurz noch einmal zusammenfassen, so möge vor allem bemerkt werden, daß es uns fern liegt zu glauben, es seien hierdurch die einschlägigen Fragen für «den Wald überhaupt» behandelt; unsere Daten beziehen sich, was Podolien betrifft, nur auf einen Laubwald, speziell Weißbuchenwald und auf das denselben begrenzende Freiland, dessen Kulturen zu einem verschwindend kleinen Theile aus Wiesen und zu 89 Prozent aus Feldern nebst einigen Hutweiden bestehen; ebenso konnten im Karpaten-Vorlande und am Thaya-Plateau nur Daten von zunächst lokaler Giltigkeit gewonnen werden und überall beziehen sich unsere Daten nur auf das Sommerhalbjahr (April—Oktober).

Es erscheint ferner nicht überflüssig, noch einmal zu betonen, daß die Resultate unserer nur zweijährigen Beobachtungen von vornherein nicht dazu bestimmt sein konnten, endgiltige Mittelwerthe oder Normalmittel zu liefern, daß es sich vielmehr darum handelte, «das Charakteristische im Gange der klimatischen Elemente unter den bei der Waldklimafrage in Betracht kommenden Umständen» zu ermitteln und insbesondere zu zeigen, in welchem Sinne eine Einwirkung des Waldes auf seine Umgebung stattfindet, das Maß dieser Einwirkung jedoch nur annähernd zu dem Zweck anzudeuten, daß man erkenne, ob es groß oder klein, relevant oder irrelevant sei. Schon dieser beschränkte Zweck schien der Arbeit werth zu sein, um so mehr, als auch andere bisher über die erwähnte Frage veröffentlichte Resultate nicht weiter als gewissermaßen zur qualitativen, nicht zur exakten quantitativen Analyse der hier in Betracht kommenden Erscheinungen und ihres kausalen Zusammenhanges geführt haben.

a. Allgemeine Gesichtspunkte für die Auffassung der Fernwirkung des Waldes.

Nach den Beobachtungen an unseren Radialstationen sind wir im Festhalten folgender Gesichtspunkte bestärkt worden:

1) Der Einfluß des Waldes auf seine Umgebung geht nicht durch Strahlung oder Leitung, sondern durch Vermittelung der Winde vor sich, welche über den Wald wehen und wird hauptsächlich bestimmt durch dasjenige, was in den Kronen und insbesondere an ihrer äußeren Oberfläche vor sich geht, nicht aber durch diejenigen Verhältnisse, welche im Innern des Waldes (am Boden und zwischen den Stämmen desselben) eigenthümlich sind.

2) Eine Wirkung in die Umgebung ist deutlich ausgesprochen im Gebiete des kontinentalen Klimas (Podolisches Plateau), wird dagegen in Gebieten mit ozeanischem oder damit verwandtem Klima leicht bis zur Unkenntlichkeit verwischt (Thaya-Plateau).

3) Diese beiden Gesichtspunkte sind wesentlich für die Beurtheilung der dem Walde im Unterschiede von anderen Vegetationsformen zukommenden Wirkung für die Umgebung.

Wenn eine bodenständige Vegetation (Acker, Wiese, Moor, niedriges Gebüsch) durch Ausstrahlung und Transpiration auf die darüber gebreitete Luft-

schicht erkältend wirkt, so bleibt diese Luft, weil sie schwerer ist und keine Steigtendenz hat, sammt ihrem Wassergehalte nahe am Boden und wird auch nicht leicht durch Winde weitergeführt, weil diese am Boden durch Reibung verlangsamt werden. Wenn jedoch die Kronen eines hochstämmigen Waldes sich abkühlen und auf die umhüllende Luftschicht erkältend wirken, kann diese letztere in die Umgebung absinken und auch durch die in der Höhe intensiver wehenden Winde horizontal weiter verbreitet werden.

Bei der Erwärmung fällt auch bei bodenständiger Vegetation zwar das Moment des leichteren Liegenbleibens am Boden weg, da die erwähnte Luft aufsteigt, aber die erschwerte Weiterführung der bodennahen Luft und der weniger intensive Wechsel mit nachrückender, für Erwärmung empfänglicher Luft besteht auch in diesem Falle und erschwert die Wirkung auf die Nachbarschaft. Die erwärmte Kronenluft hingegen wird während ihres Aufsteigens sammt dem aus den Kronen erhaltenen Wassergehalte leichter auch horizontal oder schief nach abwärts weitergeführt und auch die nachdrückende Luft kann, so lange sie noch kälter ist als die Kronen, von diesen Wärme empfangen und weiterverbreiten.

Der räumliche Abstand zwischen Waldboden und Kronen bringt auch eine bei bodenständiger Vegetation nicht stattfindende Wirkung dadurch hervor, daß zur Zeit, in der es am Waldboden wärmer ist als in den Kronen, die Luft vom ersteren in und über die letzteren aufsteigen und dadurch ihre Abkühlung verlangsamen, die fortgesetzte Verdunstung aus den Kronen aber befördern muß, was wieder durch Vermittelung der Luftströmungen der Umgebung zu Gute kommen kann. Was sich von solchen Wirkungen nachweisen ließ, wurde nur verständlich durch die hier dargestellte Auffassung.

4) Nicht allein durch den allgemeinen Charakter der klimatischen Provinz, in welcher ein Beobachtungsgebiet gelegen ist, sondern auch durch ganz lokale Verhältnisse der einzelnen Stationen werden die Wirkungen des Waldes oft verwischt, und zwar in einem Grade, wie man es bisher kaum erwartet hat. Man wird kaum irgendwo sorgfältiger ausgewählte Stationsorte als die unsrigen finden, an denen Alles, was man gewöhnlich als «störende» Lokaleinflüsse bezeichnet, vermieden war; aber an irgend einem physischen Punkte muß jede Station sich befinden, und diese Punkte besitzen eben physische Eigenthümlichkeiten der Exposition, des Bodens, der Bodenbedeckung ihrer Umgebung u. s. w., und es zeigt sich bei skrupuloser Vergleichung der Beobachtungsdaten zahlreicher benachbarter Stationen, daß solche ganz lokale Eigenthümlichkeiten, wenngleich mit sehr kleinen Beträgen, modifizirend auf die meteorologischen Elemente wirken; und da die Wirkungen des Waldes in unseren Gegenden sich auch nur in kleinen Beträgen aussprechen, werden die letzteren leicht durch die ersteren undeutlich gemacht.

Aus diesem Grunde bietet die Anlage, Führung und die schließliche fachliche Verwerthung der Daten von Radialstationen größere Schwierigkeiten, als man im Vornhinein annnehmen sollte und als wir selbst vermuthet hatten.

Die fachliche Verwerthung insbesondere wird erschwert und komplizirt dadurch, daß die klimatischen Elemente sich gegenseitig beeinflussen, weshalb bei der Diskussion jedes einzelnen Elementes sich Lücken ergeben, die erst bei der Behandlung eines oder mehrerer anderer ausgefüllt werden können. Die Resultate der Stationsdaten lassen sich also nicht so einfach und klar in wenigen prägnanten Zahlen darstellen wie die Ergebnisse physikalischer Experimente.

b. Bezüglich der einzelnen klimatischen Elemente.

Winde.

Was die Windstärke betrifft, so wirkt der Wald nur auf eine sehr kurze Distanz, und zwar nicht immer durch Vermehrung der absoluten Windstillen, sondern mehr durch die Abschwächung stärkerer Winde. Diese mechanische Wirkung hat auch wesentliche Folgen, zunächst für die wirksamere Insolation und Radiation, indem beide durch ruhige Luft wesentlich gefördert werden.

Sehr nahe am Waldrande gelegene Punkte werden oft von den über den Wald streichenden Winden überweht, so daß diese letzteren ihre Wirkung auf die Modifikation einzelner Witterungselemente (insbesondere der Temperatur und Luftfeuchtigkeit) erst in einiger Entfernung vom Walde äußern können.

Winde «aus dem Walde», also solche, denen die Wirkung zugeschrieben werden könnte, die klimatischen Zustände des Waldinnern nach außen zu verbreiten, konnten in allen drei Beobachtungsgebieten nur folgerungsweise angenommen, nicht aber direkt als solche beobachtet werden. Für diese Frage können nur Beobachtungen sehr aufmerksamer Organe in weit kürzeren Zeitintervallen und unter Erfassung geeigneter Witterungszustände, oder Stationen mit Registrirapparaten die erforderlichen Daten liefern. Der Umstand jedoch, daß nach den Resultaten aller drei Beobachtungsgruppen die als Wind «aus dem Walde» aufzufassenden schwachen Luftströmungen, insbesondere Abends und theilweise auch noch um 7 Uhr Früh, häufiger sind als um Mittag, wo doch nach den Erfahrungen über die Temperatur des Waldinnern gegenüber dem Freilande am ehesten von der unteren Stammregion ausgehende schwache Winde nach dem Freilande wahrzunehmen sein sollten, weist darauf hin, daß jene abendlichen und theilweise auch noch morgendlichen Luftströmungen durch die über der Kronenoberfläche befindliche, zu jenen Tageszeiten kühlere Luft gegenüber der Temperatur in den der Bestandeshöhe korrespondirenden Freilandsluftschichten bewirkt sein können.

Die theoretische Möglichkeit lokaler Winde von solchem Ursprunge liegt nicht nur bei einem Walde vor, wenn dessen Kronendach während der Nacht stärker ausstrahlt als die Kulturen des umgebenden Freilandes, sondern sie kann in geringerem Grade auch bei einem gegenüber dem betreffendem Freilande Nachts gleich oder auch um etwas weniger ausstrahlenden Walde bei entsprechender Bestandeshöhe noch vorkommen, in diesen letzteren Fällen aber nur in den höheren Luftschichten zum Ausdruck gelangen. Der Grund hierfür liegt, wie dies bei der Temperatur näher behandelt wird, in der Zunahme der nächtlichen Temperatur von der ausstrahlenden Fläche nach oben und in der vertikalen Verschiebung der Kronendecke gegenüber dem Freilandsboden um die Bestandeshöhe, so daß unter beiderseitig gleichen Ausstrahlungsverhältnissen die Temperatur unmittelbar über den Baumkronen Nachts um den der Bestandeshöhe entsprechenden Betrag der Zunahme nach oben eindringen muß als in der betreffenden Freilandsluftschichte.

Nach diesen Erwägungen wurde schon im I. Theil dieser Mittheilungen auf Grund der Resultate an der Rieder Parallelstation auf das Entstehen lokaler Luftströmungen während der Nacht von der Kronenoberfläche her aufmerksam gemacht, während die Ergebnisse an den Radialstationen neuerdings Veranlassung

gaben, diese Frage zu ventiliren und sie für die Zukunft einer eingehenden Würdigung zu empfehlen.

Temperatur.

Für die nächste unbewaldete Umgebung (Waldblößen, Waldrand) zeigen unsere Stationen eine Vergrößerung der Temperatur-Extreme durch die Nähe des Waldes, und zwar hauptsächlich zu Folge der Abschwächung der Winde, wodurch Ein- und Ausstrahlung begünstigt werden. In Zeiten, zu denen diese beiden Aktionen nicht in erheblichem Maße stattfinden, wie bei dichter Bewölkung, Regen, heftigem Winde, kommt die erwähnte Wirkung des Waldes nicht zu deutlich meßbarem Ausdruck.

Diese Steigerung der Temperatur-Extreme muß sich jedoch, obwohl sie bisweilen bedeutend (Podolien bis 3,8°) ist, vom Walde aus nicht in große Entfernung verbreiten, nicht nur wenn sie irgendwo schon an und für sich klein ist, sondern auch, weil sie durch die Feuchtigkeitswirkung des Waldes paralysirt werden kann. Wenn nämlich der Wald, wie wenigstens in Podolien ersichtlich geworden, eine größere Luftfeuchtigkeit seiner Umgebung mittheilt, so wird hierdurch auch die Ausstrahlung vermindert, schon deshalb, weil feuchtere Luft weniger diatherman für die vom Erdboden ausgehende (opake) Widerstrahlung ist als trockene, noch mehr aber, wenn die erhöhte Luftfeuchtigkeit der Umgebung zu Nebel- und Wolkenbildungen führt. In dieser Weise kann allerdings entschieden nur die stärkere Abkühlung, nicht aber ebenso entschieden die stärkere Erwärmung vermindert werden, da für die Einstrahlung (Insolation) feuchte Luft gleich diatherman wie trockene, für die opake Widerstrahlung aber empfänglicher ist als trockene.

Das steht nicht im Widerspruch mit Demjenigen, was vorhin über die gesteigerten Temperatur-Extreme in der nächsten Nähe des Waldes gesagt wurde, weil, wie schon wiederholt dargestellt wurde, die unmittelbar angrenzenden Freilandsstreifen oder Enklaven von den Kronen minder häufig überweht werden, daher nicht an jenen Feuchtigkeitszuständen theilnehmen, welche eben erst durch die Winde von den Kronen her weiter vertragen werden.

Nach den podolischen Beobachtungen, und insbesondere bei der Gegenüberstellung der westlichen Freistationen und der Zentral- und östlichen Randstation, wurde die Erniedrigung der Nachttemperaturen, wie sie nach den Monatmitteln und bei Windstillen in jenen waldnahen Stationen erscheint, bei durchgehends westlichen Winden nicht noch bedeutender, sondern im Gegentheil zumeist kleiner; dagegen zeigte sich bei durchgehends östlichen Winden in der nur um Straßenbreite vom unmittelbaren Waldrande entfernten, also überwehten Randstation Rypiaki, eine Erhöhung der nächtlichen Temperatur.

Es wird also auch hierdurch theilweise eine Grenze vorgezeichnet, wie weit sich diese Erhöhung der Temperatur-Extreme in unmittelbarste Nähe des Waldes (Waldblößen, Waldrand) als durch den mechanischen Schutz vor etwas stärkeren Winden hervorgerufen oder doch begünstigt, erstrecken mag, nämlich soweit, wie die vom Winde überwehte Zone am Waldsaume reicht, also einen Terrainstreifen in sich begreift, der um so breiter ist, je größer die Bestandeshöhe, je dichter der Wald und je schwächer der Wind ist.

Was für das Verständniß der Wirkung des Waldes auf die Temperatur der weiteren Umgebung besonders wichtig erscheint, ist die richtige Vorstellung von den Unterschieden und Aehnlichkeiten zwischen der Kronenvegetation und der Bodenbedeckung des Freilandes.

Nach unseren Erfahrungen ist neuerdings ersichtlich, daß der Wald in Bezug auf die Temperatur nach der Ferne nicht anders als jede andere gleich stark sich erwärmende oder ausstrahlende Vegetationsoberfläche wirkt, daß also in dieser Richtung nicht jeder Wald für jedes Freiland als die Temperatur-Extreme limitirend hingestellt werden kann.

Wie sehr verschieden sich die Temperatur einer Freilandsoberfläche verhält, je nachdem sie brach oder bepflanzt ist, hat *Wollny* (diese Zeitschrift. Bd. VII. 1884. S. 209 ff.) durch einige Versuchsreihen gezeigt, aus denen erhellt, daß die Temperatur der Luft über einem Kleefelde gegenüber einer Brachfläche im Sommer bei klarem Wetter 0,4 m über dem Boden, bei Tag meist um ca. 1—2°, Abends aber bisweilen selbst um 5° kälter ist, daß ähnliche Differenzen beim Graslande eintreten, wo bei Nacht die Differenzen kleiner und mehr schwankend werden und sich zur Zeit der Reifung sogar umkehren. Dieser letztere Umstand wirft auch Licht auf das von uns beobachtete Verhalten der Temperatur an der Oberfläche der Baumkronen, die nicht stets kälter sind; da sie nämlich nicht nur aus Blättern, sondern auch aus verholzten Zweigen bestehen, deren Wärmekapazität mit jener des reifen Grases ähnlich ist, wird bei Tag die abkühlende Wirkung der Blätter durch die erwärmende der Zweige zum Theil aufgewogen oder auch überwogen, was bei Nacht nicht gilt. Es sei nur noch bemerkt, daß bei einem Abstande von 2 m über den von *Wollny* verglichenen bewachsenen und kahlen Flächen die Differenzen schon sehr klein wurden, und daß auch nach unseren Experimenten bei Karlslust die von der Kronenoberfläche meßbar beeinflußte Luftschicht kaum viel mächtiger als 2—3 m sein dürfte.

Ein Unterschied zwischen Wald- und Freilandkultur liegt aber darin, daß die sich erwärmende oder abkühlende Vegetationsdecke beim Walde über den Boden erhöht, auf die Säulen der Stämme gestellt ist; und dadurch allein muß ein Unterschied in der Wirkung eines sich gleich stark erwärmenden Waldes (nämlich seiner oberen Kronenfläche) mit einer sich sonst ähnlich verhaltenden bodenständigen Vegetation bedingt werden.

Es ist nämlich eine schon früher bekannte und durch die Rieder Beobachtungen bestätigte Thatsache, daß die Temperatur im Freien bei Tage vom Boden nach oben hin ab-, bei Nacht hingegen in geringerem Grade zunimmt.

In derselben Freilandsluftschichte, in der die Oberfläche der Baumkronen sich befindet, ist also, eine sich gegen Ein- und Ausstrahlung gleich verhaltende Freilandsoberfläche vorausgesetzt, bei Tage gegenüber der ersteren eine um so niedrigere Temperatur vorhanden, je größer die Bestandeshöhe des verglichenen Waldobjektes ist, da in diesem Falle die Abnahme nach oben um so größer ist. Andererseits nimmt aber die Temperatur von der Kronenoberfläche nach oben ebenfalls, und zwar in demselben Maße ab, so also, daß sich die Wald- und Freilandsluftsäulen bezüglich ihrer Temperaturen entsprechend der Bestandeshöhe verschieben. Bringt nun der Wind die so erwärmte Luft von den Baumkronen in ein bezüglich seiner Kulturoberfläche sich zur Erwärmung gleich verhaltendes

Freiland, so wird, eine nur horizontale Bewegung der Luftmassen angenommen, von der Freilandsluftschichte, welche der Bestandeshöhe entspricht, angefangen, bei Tage vom Walde her in das Freiland eine Luftsäule übertragen werden, die um jenen Betrag höher temperirt ist, welche der Abnahme der Temperatur vom Erdboden bis zur betreffenden Bestandeshöhe entspricht.

Bei Nacht wird den höheren Freilandsluftschichten von einer sich gegenüber dem Freilande wie oben verhaltenden Waldoberfläche eine Erkaltung zukommen.

Für Kopfhöhe kann die wärmere (Tag-), resp. kältere (Nacht-) Temperatur vom Walde her nur dadurch zum Ausdrucke kommen, daß sich die Luftmassen nicht lediglich in horizontaler, sondern auch in vertikaler und schiefer Richtung bewegen.

Theoretisch genommen ist solches bei Tage weniger zu gewärtigen als bei Nacht, wo die vom Walde kommende Luftsäule kälter, also auch schwerer ist als die in gleichen Höhen befindlichen Freilandsluftschichten.

Nehmen wir nun eine sich viel weniger erwärmende Waldkronenoberfläche, z. B. einen üppigen Buchenwald auf dem besten Standorte, gegenüber einer vollkommen brach liegenden Umgebung, oder einem in Umackerung begriffenen Getreidefelde an, so kann in einem solchen Falle vom Walde her den höheren Freilandsluftschichten nur bei größerer Temperaturdifferenz der verglichenen Oberflächen bei Tage eine Erkaltung zukommen; um so leichter können dagegen die unteren Luftschichten (Kopfhöhe) in diesem Falle vom Walde aus eine Abkühlung erfahren, indem sich die kältere Waldluft bei der Fortbewegung im Freilande herabsenkt. Bei Nacht erfährt ein so geartetes Freiland natürlich noch eher als im erstangeführten Falle (beiden Oberflächen gleiche Erwärmung) eine Erkaltung vom Walde aus, was sowohl für die oberen als auch für die dem Boden nahen Luftschichten gilt.

Setzen wir endlich eine Waldoberfläche voraus, die sich stärker erwärmt als die umliegenden Freilandkulturen (Luzerne, mehrmahdige Wiesen u. s. w.), so ist bei Tage in den im Freilande über der Höhe der Kronenoberfläche gelegenen Luftschichten eine Erwärmung durch Horizontalbewegung der Luftmassen vom Walde her zu erwarten; durch hinzukommende vertikale (schiefe) Bewegung der Luftmassen wird eine theilweise Erhöhung der Freilandstemperatur auch in Kopfhöhe zum Ausdruck kommen.

Bei Nacht kommt in solchem Falle den höheren Luftschichten zweifellos ebenfalls eine Erwärmung vom Walde zu, desgleichen kann eine solche durch vertikale Luftströmungen auch zu den unteren Luftschichten gelangen.

Die Größe der nach den vorgenannten Fällen bewirkten Temperaturveränderungen hängt in zweiter Linie mit der Ausdehnung des Waldes zusammen; insbesondere wird ein kleiner Waldkomplex die geschilderten Veränderungen nur auf geringe Entfernung hin oder auch da kaum merkbar zum Ausdruck bringen können.

Nach dieser allgemeinen Auffassung über die Art der Fernwirkung eines konkreten Waldes auf das jeweilig vorhandene Freiland in Bezug auf die Temperaturverhältnisse sollen in Kürze die Resultate rekapitulirt werden, welche sich nach unseren Beobachtungen herausstellten.

An der Parallelstation Ried war die Temperatur tagsüber am Freilande in 5 m über dem Erdboden in geringerem Grade tiefer, Nachts aber (und zwar zu

Zeit des Temperaturminimums im Mittel 1,4° C.) in größerem Maße höher als über den Rothbuchenkronen. Durch Vermittelung der Winde war demnach in 5 m Höhe und selbst noch in Kopfhöhe über dem Freilande selbst bei Tage eine Erhöhung der Temperatur durch den Wald zu erkennen, während der Nacht hingegen eine Abkühlung um einen höheren Betrag. Im Tagesmittel resultirte demnach eine abkühlende Wirkung des Waldes.

An der podolischen Stationsgruppe wurde in den mittleren Tagesstunden eine Erhöhung der Temperatur, Früh und Abends aber keine Erniedrigung, sondern in der Mehrzahl der Fälle ebenfalls eine geringe Erhöhung der Temperatur in dem vorwiegend aus Feldern bestehenden Freilande gegenüber dem Weißbuchenstande ersichtlich; im Tagesmittel resultirt hier also eine Erwärmung des weiteren Freilandes durch den Wald.

Die Beobachtungen im Karpaten-Vorlande erweisen für die Laubholzzone (Weißbuchenwald) gegenüber dem umgebendem Freilande, das zumeist aus Wiesenland besteht, eine wenn auch nicht bedeutende Erhöhung der Temperatur auf der Leeseite bei östlichen Winden, die vorwiegend von Heiterkeit begleitet sind, während für die Nadelholzzone (hochstämmiger Tannenwald) bei westlichen Winden Morgens und Mittags meist eine Erniedrigung der Temperatur im Lee erschien und auch nach den Daten bei östlichen Winden, wenngleich weniger ausgesprochen, dasselbe Verhältniß angedeutet erscheint. Hiernach besteht in diesen Fällen die Wirkung des Weißbuchenwaldes auf das so beschaffene umgebende Freiland in einer Erwärmung, jene des Tannenhochwaldes hingegen im Ganzen in einer Abkühlung der Lufttemperatur.

Leider ist es nach den Verhältnissen am Thaya-Plateau in Folge der zu stark hervortretenden Lokaleinflüsse nicht möglich, einen direkten, nur dem Walde allein zuzuschreibenden Einfluß auf das Freiland zu konstatiren. Es sei jedoch hervorgehoben, daß in dem um die östliche Randstation Höllner befindlichen Freilande, einem kurzgrasigen, steinigen Hutweideterrain, sowohl Früh als Abends und theilweise auch Mittags eine geringe Abkühlung nach den vorliegenden Daten in Uebereinstimmung mit theoretischen Voraussetzungen anzunehmen, wenngleich nicht ziffermäßig aus der Gesammtwirkung der lokalen Einflüsse auszuscheiden ist.

Für die Fernwirkung eines Waldes kann also nicht generell die bisher zumeist vertretene Lehre gelten, daß der Wald überhaupt abkühlend auf das umgebende Freiland wirke. Die Wirkung wechselt vielmehr unter geänderten Wald- und Freilandsverhältnissen, und es wird klar, daß der Wald bezüglich seiner Wirkung auf die Temperatur seiner Umgebung wie jede andere sich gleich stark erwärmende und in demselben Maße während der Nacht ausstrahlende Kulturgattung als Modifikator des Klimas zu betrachten sei, mit dem Unterschiede, daß die erwärmende und abkühlende Oberfläche beim Walde um die Bestandeshöhe in vertikaler Richtung gegenüber dem Freilande verschoben ist.

Diese Auffassung über die Fernwirkung des Waldes läßt aber auch die bisherige Anschauung über die Wirkung des Waldes auf die Temperatur-Extreme des entfernteren Freilandes in einem anderen Lichte erscheinen. Der Wald stumpft nicht allein die Extreme der Temperatur des in seinem Wirkungsbereiche liegenden Freilandes ab, sondern kann dieselben unter Umständen auch erhöhen, wie dies nach den Beobachtungen bei Ried, wenn auch nur für die Temperatur in

Kopfhöhe (und wohl kaum für die transpirirende Kulturoberfläche selbst) gefolgert werden konnte. Auch nach den Resultaten der podolischen Stationengruppe liegt für die östliche Freistation Skala eine Vergrößerung der Temperatur-Extreme vor, die hier aber nur durch höhere Mittagstemperaturen, also nicht durch eine die Frostgefahr möglicherweise vergrößernde Erniedrigung der Nachttemperatur hervorgerufen ist.

Wollte man, wie bisher häufig geschehen, die Temperatur des Waldinnern mit jener im Freilande vergleichen und hieraus auf die Wirkung der Bewaldung auf das umgebende Freiland schließen, so würde sich ergeben, daß Mittags, also zur wärmsten Tageszeit, die abkühlende Wirkung des Waldes auf das Freiland am größten sein müßte. Daß dies jedoch nicht der Fall ist, hat bereits *J. Hann* (diese Zeitschrift. Bd. IX. 1886. S. 338) nachgewiesen. Hiernach betrug die abkühlende Wirkung des Waldes Mittags im Mai—Oktober durchschnittlich nur 0,23° C., Früh (7 Uhr) aber 1,07° C., Abends (9 Uhr) aber sogar 2,03° C. Es liegen hier fast die gleichen Verhältnisse wie in Ried, das am nördlichen Abhange des Wiener Waldes liegt, vor, und die Resultate sprechen in demselben Sinne wie dort. Der Wald wirkt also auch nach diesen *Hann*'schen Ergebnissen Nachts nicht erwärmend, wie man nach dem obengenannten Beobachtungsmodus gewöhnlich schließt und wodurch neben der vermeintlichen größten Abkühlung bei Tage eine Abstumpfung der Temperatur-Extreme angenommen wird, sondern gerade zu dieser Tageszeit am meisten abkühlend, ein Resultat, wie es nach unserer allgemeinen Formulirung der Fernwirkung des Waldes besonders als Folge der vertikalen Verschiebung (Höhenlage) der ausstrahlenden Oberflächen erklärlich wird, aber auch mit den unmittelbaren Eindrücken übereinstimmt, die man im Wiener Walde empfängt und die sich am frühen Morgen und gegen Abend ganz empfindlich fühlbar machen.

Luftfeuchtigkeit.

Bezüglich der absoluten Luftfeuchtigkeit wird sowohl nach unseren Beobachtungen in Ried, als auch nach jenen in Podolien eine Erhöhung durch den Wald konstatirt, welche durch Vermittelung der Winde ins Freiland übertragen wird. Jene dem Freilande zugeführten Ueberschüsse betragen allerdings nur einige Zehntel bis zu einem mittleren Maximalbetrage von 1,5 mm und sind während der wärmeren Tageszeit, wenigstens bei Ried, bedeutend größer als während der Nacht. Für das Karpaten-Vorland und die Umgebung von Karlslust sind gegenüber dem dort befindlichen Freilande Erhöhungen der absoluten Feuchtigkeit durch den Wald nicht nachweisbar.

Erwägt man den von uns bezüglich der Radialstationen nur erschlossenen, daselbst aber nicht direkt beobachteten Einfluß der jeweiligen Bodenbefeuchtung auf die Luftfeuchtigkeit im Zusammenhange mit Demjenigen, was über die Transpiration bekannt ist, und was wenigstens die podolischen Stationen bezüglich der Luftfeuchtigkeit gezeigt haben, so können wir dem Walde gerade bezüglich der absoluten Feuchtigkeit einen besonders in trockenen Gegenden günstig hervortretenden Einfluß in klimatologischer Richtung zuschreiben. Wir ersahen nämlich schon nach den Beobachtungen der Rieder Parallelstation, daß in Trockenperioden die Transpirationswirkung der Baumkronen ersichtlich mehr zur Geltung kommt als bei feuchtem oder gar nassem Waldboden, wo immer der Wassergehalt im Waldinnern jenen in den Kronen überwog. *Ebermayer* kommt nach

umfassenden Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf die Bodenfeuchtigkeit und die Sickerwässer (diese Zeitschrift. Bd. XIII. 1890. S. 1) zu dem Resultat, daß der Wald im Wurzelraume den Boden stark austrockne, während die obere streubedeckte Schichte immer feucht bleibe. Dagegen trocknen Graswuchs und Futterpflanzen den Oberboden noch stärker aus als der Wald, was neben unseren Rieder Ergebnissen zu dem Schluß führt, daß der Wald besonders in Trockenperioden die Fähigkeit besitzt, den absoluten Wassergehalt der Luft zu bereichern.

Die Bereicherung der Luft an Wasserdampf durch den Wald ist also um so wichtiger, als sie zu jenen Zeiten stattfindet, in denen andere Kulturgattungen (welche allerdings zeitweise davon mehr liefern) sich in dieser Beziehung arm verhalten, während der Wald jenen Antheil an Wasserdampf, der von der Transpiration herrührt, gerade dann in reichlicherem Maße abgiebt, wenn die Luft wärmer und der Boden trocken ist. Allerdings kann man nicht sagen, daß der Wald den Wasservorrath, aus welchem diese Mittheilung an die Umgebung erfolgt, selbst schaffe, aber seine Rolle besteht darin, daß er den durch die Niederschläge jeder Art erhaltenen Vorrath in günstigerer Weise repartirt.

Die Erhöhung der absoluten Feuchtigkeit der Luft ist also hauptsächlich jene Wirkung, durch welche ein großer Wald mehr als ein kleiner seine Umgebung günstig beeinflussen kann, weil die erwähnte Wasserlieferung selbstverständlich mit der Oberfläche der Kronen wächst. Es ist daher in dieser Richtung bei den ferneren Beobachtungen eine besondere Aufmerksamkeit geboten.

Eine Erhöhung der relativen Feuchtigkeit durch den Wald erscheint für die weitere Umgebung vorerst nach den Rieder Beobachtungen in sehr deutlichem Maße gegeben, und zwar zu allen Tageszeiten als Folge des Zusammenwirkens von Temperatur und Dampfdruck zugleich. Tagsüber und besonders Mittags beträgt aber die Erhöhung der relativen Feuchtigkeit kaum mehr als 3 Prozent. Nachts hingegen (und vorwiegend gegen das Temperaturminimum hin) mehr als das Doppelte, ja gegenüber der mit der Kronenhöhe korrespondirenden Freilandsluftschichte sogar das Vierfache der Erhöhung bei Tage.

In Podolien ist Früh und in geringerem Maße auch Abends eine Erhöhung der relativen Feuchtigkeit durch den Wald gegeben, und zwar für das weitere Freiland mit einer mittleren oberen Grenze von etwa 10 Prozent. Mittags ist nicht nur keine Erhöhung auf weitere Entfernung hin gegeben, sondern das Freiland empfängt zu dieser Tageszeit vom Walde her sogar zumeist eine relativ trockenere Luft. Die Ursache des relativen Verhaltens der Feuchtigkeit liegt für die Mittagszeit in der höheren Kronentemperatur, Früh und Abends aber zumeist nur im Dampfdrucke, da der podolische Weißbuchenwald nicht als der Ausgangspunkt kühlerer Luft während der Nacht nach dem schon an sich stark abgekühlten Freilande hin aufgefaßt werden kann.

Im Karpaten-Vorlande und am Thaya-Plateau ergeben sich (mit Ausnahme der nicht lediglich als Wirkung des Föhrenwaldes aufzufassenden Erhöhung der relativen Feuchtigkeit in der Station Höllner) keine Relationen, welche dem Walde gegenüber einer derartigen Umgebung eine deutliche Wirkung zuerkennen lassen.

Es ist demnach auch der Einfluß auf die relative Luftfeuchtigkeit der weiteren Umgebung immer in jedem konkreten Fall für sich zu betrachten. Soviel aber ist gewiß, daß während der wärmeren Tageszeit selbst ein stark transpirirender Wald gegenüber dem Freilande (als Folge der Wirkung der Kronenoberfläche wie jede andere Kulturart) meist wohl nur eine ganz geringfügige Erhöhung der relativen Feuchtigkeit hervorzubringen vermag, ja daß ein minder stark transpirirender Wald, besonders in einer wiesenreichen Umgebung oder überhaupt einer solchen mit länger anhaltendem Pflanzenbestande (Futterpflanzen) sogar eine relativ trockenere Luft als das weitere Freiland übermittelt.

Während der Nacht wird zu Folge der Ueberhöhung der Baumkronen über das umgebende Freiland dem letzteren mit der niedrigeren Temperatur gleichzeitig auch eine relativ feuchtere Luft zugeführt, welcher Umstand selbst dann hervortritt, wenn die Oberflächen beider Vergleichstheile sich gleich stark abkühlen, was sich am meisten äußert, wenn ein sich des Nachts an der Kronendecke stärker abkühlender Wald einem weniger stark ausstrahlenden Freilande gegenübersteht. Selbstredend ist auch der Fall immerhin möglich, daß Nachts vom Walde nach der weiteren Umgebung keine relativ feuchtere Luft, sondern sogar eine trockenere übermittelt wird.

Vergleichen wir schließlich diese Fernwirkung des Waldes mit seiner Nahewirkung, so ergiebt sich: in der unmittelbaren Nähe bedingt der Wald als Folge der obwaltenden Temperaturverhältnisse eine niedrigere relative Luftfeuchtigkeit, also eine größere Trockenheit der Luft als in der weiteren Umgebung, dagegen Nachts einen besonders hohen relativen Feuchtigkeitsgrad. Diese Nahewirkung des Waldes entspricht auch dem thatsächlichen Eindrucke, den wir in Lagen, wo die Nahewirkung in Betracht kommt, empfangen, sei es wirklich in Form der naßkalten Luft, sei es in Form von Thau- und Reifbeschlag; hierüber wird noch unter «Niederschlag» die Rede sein.

Niederschlag.

Nach allen unseren Beobachtungen wurde keine durch den Wald bewirkte Erhöhung der lokalen Niederschläge ersichtlich. Aber auch nach allen anderen bisher vorliegenden Ergebnissen dieser Art läßt sich kein in einer bestimmten Formel allgemein ausdrückbarer Zusammenhang zwischen Bewaldung und Niederschlag erkennen. Daß der Wald nicht in oberster Linie die Quelle von Niederschlägen sein, sondern nur in untergeordnetem Grade als Modifikator der lokalen Niederschlagsvertheilung wirken könne, ist nun bereits allgemein angenommen. Diese untergeordnete, daher keinenfalls in hohen Beträgen sich aussprechende Wirkung ist aber um so schwerer nachzuweisen, da überhaupt die Ombrometrie an Fehlerquellen leidet.

Hellmann insbesondere hat nachgewiesen, daß durch Messung des Niederschlagsquantums eine eventuelle Vermehrung der lokalen Niederschläge durch irgend welchen das Klima modifizirenden Faktor überhaupt nicht nachweisbar ist (oder zu Trugsschlüssen führt), wenn der die Niederschläge vermehrende Einfluß nicht merklich größer ist, als die prozentuellen Differenzen in den Niederschlagsmengen (selbst benachbarter, unter ganz gleichen Verhältnissen liegender Orte) an und für sich betragen (Met. Zeitschrift. Bd. III. 1886). Vornehmlich die letzteren von *Hellmann* konstatirten unkontrolirbaren Faktoren bei Messung der

Niederschlagsmengen bestimmten uns schon oben, darauf hinzuweisen, daß in Hinkunft der Beobachtung der Niederschlagshäufigkeiten ein größeres Augenmerk als bisher anzuwenden sei, wobei wir im Anschlusse hieran den Zusammenhang zwischen der Disposition zu Niederschlägen über dem Walde und über freiem Felde folgerungsweise wie nachstehend formuliren können.

Der Wald verhält sich, wenn man zunächst nur die Temperaturverhältnisse als Bedingungen der Kondensation in Betracht zieht, rücksichtlich des Einflusses auf die Niederschläge im Allgemeinen, und wie von uns wiederholt hervorgehoben, gleich jeder anderen in Bezug auf Erwärmung und nächtliche Abkühlung analog wirkenden Kulturoberfläche, mit dem Unterschiede nur, daß das Kronendach die Freilandskulturen um die jeweilige Bestandeshöhe überhöht. Dieser letztere Umstand hat zur Folge, daß zur wärmeren Tageszeit (wegen der Abnahme der Temperatur von der erwärmten Oberfläche nach oben) über dem Walde eine geringere Disposition zu Niederschlägen besteht als in den korrespondirenden und höheren Luftschichten über freiem Felde, daß hingegen während der Nacht (eben durch die Ueberhöhung der Baumkronen über das Freiland) die Disposition zu Niederschlägen durch den Wald erhöht wird.

Dieses Verhältnis des Waldes gegenüber dem Freilande tritt schärfer hervor, wenn ein Nachts stärker ausstrahlender Wald von einer sich geringer abkühlenden bodenständigen Freilandsvegetation umgeben ist, hingegen weniger, gar nicht oder sogar mit entgegengesetzt zeigenden Werthen, wenn ein Wald mit geringem Ausstrahlungsvermögen einer sich besonders stark abkühlenden landwirthschaftlichen Kulturart gegenübersteht.

Modifizirt werden die vorgenannten Relationen durch die absolute Luftfeuchtigkeit, durch welche der Wald in Trockenperioden befähigt werden kann, die lokalen Niederschläge zu erhöhen, sei es nun in Form von Beschlag auf den Baumkronen, sei es in Form von schwächeren Regen über denselben. Unter anderen Verhältnissen werden aber andererseits wieder die landwirthschaftlichen Kulturen eine größere Neigung besitzen, die lokalen Niederschläge zu erhöhen.

Neben diesen vorgenannten Wechselbeziehungen zwischen Wald und Freiland giebt der Wald als mechanisches Hinderniß Anstoß zu einer Erhöhung der Niederschläge, indem Luft, die sich in einer waldlosen Gegend frei bewegt, durch den Wald um so mehr in ihrer Bewegung gehemmt wird, je höher die Bäume und je dichter die Bestände sind, wodurch eine Stauung der Luftmassen eintritt. Dieselben werden theilweise in die Baumkronen hineingezwängt, theilweise zurückgeworfen, und gezwungen, sich zu erheben, wodurch Wärme gebunden und der relative Feuchtigkeitsgrad erhöht wird. Am meisten wird diese mechanische Wirkung des Windes in ganz unregelmäßigen Wäldern, wo Altholz und Stangenorte mit Jugenden, Waldwiesen und Blößen häufig wechseln, zu erwarten sein und unter den letzteren Umständen dann besonders auf den luvseitigen Hängen, wo solche Hindernisse am meisten das Aufsteigen des Windes hindern.

Neben dieser mechanischen Wirkungsweise der Wälder tritt noch eine zweite solche hervor, welche durch die Temperatur und das Verhalten der relativen Feuchtigkeit in der unmittelbaren Nähe des Waldes bedingt ist. Hiernach sind auf Waldblößen und am Waldrande Thau- und Reifniederschläge eher zu gewärtigen als auf freiem Felde, ein Umstand, der insbesondere in Oertlichkeiten,

wo Wald und landwirthschaftliche Kulturen in schmalen Streifen oder kleineren Beständen stetig wechseln, bei Thauniederschlägen zu Gunsten der bodenständigen Vegetation hervortreten wird, während er sich in hellen Nächten durch das frühere Entstehen von Reif auch nachtheilig an den holzleeren Stellen äußern kann.

Verdampfung.

Bezüglich der Verdampfungsgröße lassen sich nach unseren Betrachtungen nur jene Stationen, welche das Maximum und Minimum der Evaporation unter allen Stationen der ganzen Reihe repräsentiren, direkt näher beurtheilen. In der podolischen Gruppe sind es die ausgesprochenste Freistation Lanowce und die Zentralstation, am Thaya-Plateau die Kesselstation Kaja und die östliche Randstation Höllner. In diesen Stationen entspricht dem Maximum der Verdampfung (Lanowce, Höllner) bei einer freien offenen Lage gleichzeitig die höchste (oder zweithöchste) Temperatur und die niedrigste relative Feuchtigkeit, während mit dem Minimum der Evaporation jene Orte (Leśniczówska, Kaja) korrespondiren, in denen alle drei genannten klimatologischen Faktoren gegenüber den übrigen Stationen (in der bezüglichen Stationengruppe) in der die Verdampfung am meisten behindernden Form vertreten sind.

Das Vorhandensein einer Fernwirkung des Waldes auf die Verdampfungsgröße konnte nur in einem einzigen Falle nach den Daten über die Verdampfung erschlossen werden, nämlich für die östliche Freistation Skala der podolischen Reihe.

Im Ganzen genommen ist die Verdampfungsgröße für sich allein nicht geeignet, der genaueren Erforschung der Wirkungsweise des Waldes auf das umgebende Freiland zu dienen; dagegen läßt sie sich immerhin neben der gleichzeitigen Beobachtung der sie bedingenden Einzelfaktoren als Ergänzung und Kontrole zur Diskussion der Resultate heranziehen.

c. Allgemeine Folgerungen für die Waldklimafrage.

1) Wenn der Wald hauptsächlich durch die Vorgänge in und an seinen Kronen auf die Umgebung wirkt, und diese Wirkung analog derjenigen ist, welche auch jede andere geschlossene, frische Vegetation ausübt, ist doch die Wirkung des Waldes nur selten durch jene irgend einer anderen Vegetationsdecke ersetzbar. Am nächsten könnte der Wirkung des Waldes jene einer Wiese kommen; diese unterscheidet sich aber doch wesentlich durch folgende Umstände: Zunächst setzt der Bestand einer perennirenden Wiese schon eine ziemlich große Feuchtigkeit in der Luft und in den obersten Bodenschichten voraus, welch' letztere entweder durch tellurisches Wasser (natürliche oder künstliche Bewässerung) oder wenigstens durch häufige, nie sehr lange unterbrochene Niederschläge geliefert werden muß; der Wald hingegen, welcher seinen Wasserbedarf aus tieferen Bodenschichten schöpft, ist vielfach auch in solchen Lagen möglich und wirksam, in denen eine perennirende Wiese nicht bestehen könnte. Ferner können Wiesen auf vielen Bodenarten nicht vorkommen, auf denen der Wald bestehen kann, so insbesondere auf steinigem Boden, welcher einen Zusammenschluß der Grasrasen nicht gestattet, dann auf Sand, in welchem das Niederschlagswasser zu rasch in jene Tiefen versinkt, in denen es den Wurzeln der Gräser nicht mehr in entsprechendem Maße zugänglich ist. Der Wald hingegen ermöglicht einen Kronenschluß und hiermit auch eine kontinuirliche, wenngleich nicht unmittelbar

auf dem Boden, sondern über den Stämmen ausgebreitete Vegetationsfläche selbst dort, wo zwischen den einzelnen Stämmen vegetationslose Stellen bleiben.

Ein wesentlicher Unterschied wird ferner durch die bodenständige Lage der Wiesenvegetation gegenüber dem hochständigen Blätterdach der Baumkronen bedingt. Wenn eine Wiese durch Ausstrahlung und Transpiration Kälte erzeugt, so bleibt diese erkaltete und eventuell relativ feuchter gewordene Luftschichte, weil sie schwerer ist, nahe am Boden liegen und wird auch schwerer durch Winde vertragen, weil nahe am Boden die Windstärke sehr bedeutend durch Reibung vermindert ist. Die hochliegende Luftschichte über den Kronen hingegen ist weit leichter durch Winde transportabel.

Nur im Falle größerer Erwärmung, welche jedoch bei Wiesen seltener und nur in geringem Grade eintritt als in den Kronen, könnte die Wiese ähnlich wie der Wald durch die in diesem Falle aufsteigende erwärmte Luft auch auf die Umgebung wirken.

Die der Wiese nächst verwandte Vegetationsform der Haidewiesen und Hutweiden kann wegen der nur kurzen Dauer ihrer frischen Vegetation und der Magerkeit derselben den Wald nicht im Entferntesten ersetzen, was annähernd auch von Prairien gilt.

Ackerkulturen kommen nur während der verhältnißmäßig kurzen Zeit, in der sie üppig grünen, dem Walde einigermaßen näher; am meisten gilt dies noch von Klee- und Feldgraskulturen; von Getreidearten aber desto weniger, je rascher sie reifen.

Nur die Vegetationsformen der Moore sind diejenigen, welche, so lange sie nicht verhaidet sind, ebenso kontinuirlich wie der Wald Wasser an die Luft abgeben und in ihrer Vegetation einen einigermaßen ähnlichen Temperaturgang erzeugen, wie der Wald in seinen Kronen; aber auch die Moore setzen, wie die Wiesen, schon die Anwesenheit desjenigen voraus, dessen Abgabe an die Luft man erwartet, nämlich die Anwesenheit von reichlichem Wasser. Auch gilt dasselbe, was bei den Wiesen über die geringere Verbreitbarkeit der von ihnen ausgehenden Luftfeuchtigkeit und Abkühlung gesagt wurde.

Es giebt also keine Vegetationsform, welche unter so wenigen Voraussetzungen und so kontinuirlich wie der Wald solche Verhältnisse darbieten könnte, wie sie dieser durch die Vegetation seiner geschlossenen Kronen und durch die erhöhte Lage derselben ermöglicht.

Wenn wir nun angesichts dieser Erwägungen fragen, ob und wie sich thatsächlich an unseren Stationen eine spezifische und zwar zugleich günstige Wirkung des Waldes auf weitere Entfernung gezeigt hat, so können wir keine weitgehenden Wirkungen dieser Art konstatiren, es ließ sich in der Hauptsache nur nachweisen, daß durch den Wald, insbesondere im trockeneren podolischen Gebiete, der Wassergehalt der Luft in günstiger Weise vermehrt und dadurch die Gefahr der dort leicht eintretenden starken Austrocknung der Feldkulturen und Weiden vermindert wird.

2) Damit unseren Resultaten nicht eine Folgerung unterschoben werde, welche sie nicht haben können, soll hier ausdrücklich bemerkt werden, daß wir zwar gezeigt zu haben glauben, wie der Wald wirkt, wenn er vorhanden ist, daß damit aber noch nicht vollkommen klargelegt ist, welche Folgen es haben würde, wenn der Wald nicht vorhanden wäre.

Die klimatischen Folgen einer Entwaldung könnten eigentlich in exakter Weise nur durch die Aufnahme der statistischen Methode konstatirt werden, indem zunächst der Gang des Klimas eines ausgedehnten Freilandes in der Umgebung eines ausgedehnten Waldes durch längere Zeit beobachtet, dann der Wald gerodet und das Beobachtungssystem während jahrelanger Abwesenheit des Waldes an denselben Stationen fortgesetzt würde, daß man endlich den Wald wieder herstellen und nun weiter konstatiren würde, wie sich der Gang des Klimas verhält, nachdem der Wald wieder erwachsen ist. Hierbei müßte, um die Beobachtung ganz konkludent zu machen, die Fläche des gerodeten Waldes in verschiedener Weise behandelt werden, es müßte an einer der Versuchsstellen der ehemalige Wald kahl gelassen, an einer anderen in eine Wiese, an einer dritten in Ackerfeld verwandelt werden, so daß also mindestens drei derlei groß angelegte Versuche, und wenn man auch nur zweierlei Baumarten — ein Laubholz und ein Nadelholz — in Vergleichung ziehen will, mindestens sechs Versuchsreihen durchgeführt werden müßten. Zu einem solchen Experimente, welches in großem Maßstabe angelegt sein müßte, dürfte wenigstens in Europa kaum sobald Gelegenheit gefunden oder geboten werden. In Asien hat in dieser Weise, wenigstens annähernd, *Blanford* (diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 428), durch besondere Umstände begünstigt, eine Untersuchung angestellt. Er hat nämlich ein Gebiet in den südlichen Zentralprovinzen Indiens in Beobachtung genommen, welches ca. 61 000 engl. Quadratmeilen umfaßt, ursprünglich bewaldet, dann durch längere Zeit entwaldet war und jetzt zu fünf Sechstel des Ganzen wieder bewaldet ist.

Der ursprünglich bestandene Wald war bis 1875 durch einen eigenthümlichen, «Dahyakultur» genannten Raubbau der Eingeborenen — fortschreitendes Abbrennen des Waldes mit nachfolgender, kurz andauernder landwirthschaftlicher Kultur — größtentheils vernichtet und der Boden, «soweit er nicht kultivirt war», eine steinige Fläche geworden. Seit 1875 aber wurde seitens der Regierung eine strenge Schonung durchgeführt, und die Fläche bedeckte sich rasch wieder mit Wald.

In dieser Gegend bestanden schon 8—11 Jahre während einer ungehinderten Devastation und dann weitere neun Jahre während der zunehmenden Bewaldung 14 Stationen mit kompleten Regenregistern. Es zeigten nun alle Stationen, mit Ausnahme einer einzigen, eine Zunahme des Regenfalles während der zunehmenden Bewaldung, und zwar im Mittel um mehr als 12 Prozent der mittleren Regenmenge; der Regenfall des außerhalb liegenden Gebietes zeigte hingegen von der ersten zur zweiten Beobachtungsperiode eine Abnahme um einige wenige Prozente. Man könnte jedoch vermuthen, daß verschiedene allgemeinere Verhältnisse der Regenvertheilung, welche mit den Bewaldungsverhältnissen nicht im Zusammenhang standen, die Ursachen der erwähnten Erscheinung gewesen wären. Um hierüber Klarheit zu erlangen, verglich *Blanford* den Gang der Niederschläge des erwähnten Beobachtungsgebietes mit jenem über ganz Indien, und es zeigte sich, daß der letztere in der ganzen Zeit vor und nach der Bewaldung des Beobachtungsgebietes eine entschiedene Konstanz hatte, während sich die erwähnte Zunahme der Regenmenge speziell nur auf dem Beobachtungsgebiet zeigte. Dieses Resultat scheint sehr entschieden für den Einfluß des Waldes, wenigstens in jenen heißen Gegenden, zu sprechen; gleichwohl glauben wir bemerken zu dürfen, daß diese Schlußfolgerungen nicht ganz

einwandfrei sind. Zunächst fehlt in der ganzen ausgedehnten Abhandlung jede Angabe darüber, aus welchen Baumarten und sonstigen Gewächsen der dortige Wald bestand; und obwohl uns die Pflanzengeographie im Allgemeinen sagt, wie die Baumvegetation jener Gegend beschaffen sei, wäre es doch von Wichtigkeit, die eigentlichen hauptsächlichen Konstituenten des dortigen Beobachtungswaldes zu kennen, weil aus ihrer Natur auch auf die größere oder geringere Wirksamkeit derselben in Bezug auf Temperatur und Transpiration geschlossen werden könnte. Ferner wird von *Blanford* erwähnt, daß während der sogenannten Entwaldungsperiode der Boden nicht durchaus unproduktiv blieb, sondern theilweise kultivirt wurde, indem man eben der Kultur wegen den Wald verwüstet hatte; man hatte es also nicht mit einer entwaldeten kahlen Fläche zu thun, sondern mit einem Gebiete, in welchem neben Resten des früheren Waldes auch Kulturen und nur zwischen denselben unkultivirte abgeholzte Flächen sich befanden. Endlich wird von *Blanford* ausdrücklich gesagt, daß sich die unkultivirt gelassenen Stellen in sehr kurzer Zeit wieder mit üppig emporschießender wilder Vegetation bedeckten, die dann unter der Gunst der angeordneten Schonung wieder zu eigentlichem Wald anwuchs. Man kann also nicht annehmen, daß die Beobachtungen während der sogenannten «Periode der Entwaldung» es überhaupt mit einem Gebiet zu thun hatten, welches als kahl gerodet oder ganz ohne Waldcharakter zu betrachten war; der Gegensatz zwischen der Vegetationsdecke beider Perioden konnte eben wegen des sehr raschen Nachwuchses kaum ein so großer sein, daß hieraus auffallende klimatische Aenderungen sich ergeben mußten.

Dieser Fall soll nur zeigen, daß derlei statistische Darstellungen nur dann einen durchschlagenden Werth haben, wenn alle möglicherweise Einfluß nehmenden natürlichen und wirthschaftlichen Umstände beobachtet und erwogen sind.

E. W.

***A. Müttrich.* Ueber den Einfluß des Waldes auf die Größe der atmosphärischen Niederschläge.** Das Wetter. 1892. Heft 2. S. 46—49, Heft 3. S. 68—71, Heft 4. S. 90—96.

Einem größeren Artikel des Verf. entnimmt die meteor. Zeitschrift (1892. Heft 8. S. 306) auszugsweise das Folgende: Aehnliche Beobachtungen wie in Indien[1]) auch auf europäischen Stationen durchzuführen, ist nicht leicht, da sich hier selten die Gelegenheit darbietet, größere Flächen, die früher kahl waren, zu bewalden. Nichtsdestoweniger kommen derartige Verhältnisse zuweilen vor, und finden sich in Lintzel, einer der forstlich-meteorologischen Stationen Deutschlands, wenn auch in kleinerem Maßstabe als in Indien, indem im Kern der Lüneburger Haide, unweit Münster, in den Aemtern Soltau, Medingen und Oldenstadt bedeutende Haideflächen durch die provinzialständische Verwaltung der Provinz Hannover zur Aufforstung angekauft sind. Der Provinzialforst Lintzel-Oerrel ist zur Zeit 3512,280 ha groß und bis auf etwa 52 ha vollständig aufgeforstet. Die Aufforstungen begannen im Jahre 1877 und wurden in den ersten Jahren energisch betrieben, indem jährlich 400—500 ha aufgeforstet wurden, während in den späteren Jahren damit langsamer fort-

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 428.

gefahren wurde. Rings um die meteorologische Station gruppiren sich Bestände von jetzt zehn- bis zwölfjährigem Alter. Die Feldstation liegt auf einer Ackerfläche von etwa 29 ha Größe, welche jetzt ringsum mit zehn- bis zwölfjährigen Kiefern und Eichenkulturen umschlossen ist. Die nähere Umgebung der Station, etwa 2 km im Radius, weist Bestände auf, welche im Verhältniß von 0,8 mit Kiefern- und 0,2 mit Eichenkulturen bestanden sind, weiterhin schließen sich jüngere und ältere Nadelholzkulturen an, die nur sporadisch mit kleineren Eichenanlagen durchsetzt sind. Die jüngeren Kulturen befinden sich mehr an der Peripherie der Aufforstungsfläche. Unmittelbar an den Provinzialforst schließen sich größere fiskalische Aufforstungen, welche zur Zeit 20—25 Jahre alt sind, desgleichen jüngere Aufforstungen von Privaten und Gemeinden an.

Die Größe der in unmittelbarem Zusammenhang resp. ohne bedeutenden Zwischenraum von Haide sich in der Umgebung der Station Lintzel gruppirenden jüngeren Forstanlagen von zwei- bis fünfundzwanzigjährigem Alter ist reichlich auf 7000—7500 ha zu schätzen.

Denkt man sich eine Quadratmeile Landes (5600—6000 ha) so begrenzt, daß die meteorologische Station Lintzel etwa im Mittelpunkt liegt, so bestand dieses Areal vor der Aufforstung aus 12% Aecker, Wiesen u. s. w., 85% Haide, 3% ältere Holzung und nach der Aufforstung aus 10% Aecker, Wiesen, Wasser, 10% Haide, Wege, Blößen und 80% Wald.

Seit dem 1. Januar 1882 wurden auf der meteorologischen Station Lintzel regelmäßige Beobachtungen angestellt, zu denen auch die tägliche Aufzeichnung der Regenhöhe gehört, und wenn auch die Zeit noch eine kurze ist, um Schlüsse in der Vollständigkeit und von der allgemeinen Giltigkeit ziehen zu können, wie es *Blanford* für Indien gethan hat, so kann doch bereits geprüft werden, ob die für Lintzel vorliegende Reihe von neunjährigen Regenbeobachtungen einen Einfluß der zunehmenden Bewaldung erkennen läßt.

Um diese Prüfung durchzuführen, wurde der Niederschlag in Lintzel mit dem auf benachbarten Stationen gefallenen verglichen und zwar in der Weise, daß für alle diese Stationen zuerst die sogenannten ausgeglichenen Werthe berechnet wurden, um den Einfluß von einzelnen Unregelmäßigkeiten, wie plötzliche Wolkenbrüche oder starke Gewitterregen von beschränktem Umfange u. s. w., möglichst gering zu machen.

Als benachbarte Stationen wurden gewählt Bremen, Hamburg und die zu dem Beobachtungsnetz des kgl. preußischen meteorologischen Instituts gehörigen Stationen Oslebshausen, Lüneburg und Gardelegen.

Mehr Stationen zu wählen, war deshalb nicht ausführbar, weil die anderen Stationen, für welche Regenbeobachtungen vorliegen, entweder zu weit von Lintzel abliegen oder in dem ganzen Charakter ihrer Umgebung zu verschiedener Art sind oder endlich weil die Regenbeobachtungen auf ihnen erst in den letzten Jahren ausgeführt sind.

Bildet man für Lintzel und die genannten fünf Vergleichsstationen die ausgeglichenen Werthe der Niederschläge, so erhält man für diese die in der nachfolgenden Tafel angegebenen Werthe:

Ausgeglichene Werthe des Niederschlages in mm:

	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890
Lintzel . . .	515	550	689	620	538	546	650	705	668
Bremen . .	798	799	821	756	636	568	608	666	657
Hamburg . .	644	651	681	650	571	580	706	781	—
Lüneburg .	561	575	619	589	512	530	625	—	—
Gardelegen .	535	545	599	568	467	454	505	—	—

Würde die zunehmende Bewaldung in Lintzel keinen Einfluß auf die Größe der Niederschläge besitzen, so müßten die Niederschläge in Lintzel mit jeder einzelnen der genannten Stationen verglichen für die verschiedenen Jahre ungefähr dasselbe Verhältniß ergeben, während, wenn ein Einfluß der zunehmenden Bewaldung stattfindet, sich dieser dadurch kenntlich machen müßte, daß die Niederschläge in Lintzel im Vergleich zu denen auf den anderen Stationen mit den Jahren zunehmen müßten. Rechnet man nun aus, wie viel Prozent der Niederschlag in Lintzel in jedem Jahre in Bezug auf die Niederschläge jeder anderen Station beträgt, so erhält man folgende Resultate:

In Lintzel beträgt der Niederschlag von dem

in	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890
Bremen . .	64	69	78	82	84	96	107	106	102
Hamburg . .	80	85	94	95	93	94	92	94	—
Oslebshausen	76	81	94	107	107	105	105	—	—
Lüneburg .	92	96	103	105	104	108	94	—	—
Gardelegen .	96	101	107	109	114	120	120	—	—

Aus der Vergleichung dieser Werthe ergiebt sich, daß in Bezug auf die benachbarten Stationen der Niederschlag in Lintzel mit zunehmender Bewaldung ebenfalls zugenommen hat, und wenn auch das Fortschreiten dieser Zunahme von Jahr zu Jahr in Bezug auf jede dieser Stationen nicht mit der Regelmäßigkeit stattgefunden hat wie in Bezug auf Gardelegen, so treten die vorhandenen Abweichungen doch fast ausnahmslos in dem letzten oder beiden letzten Jahren auf und dürften hier in dem Umstande ihre Erklärung finden, daß die für dieses Jahr gebildeten ausgeglichenen Werthe noch nicht eine vollständige Zuverlässigkeit besitzen, wie denn auch überhaupt für die früheren Jahre diese Werthe sich mit größerer Sicherheit hätten bilden lassen, wenn die Beobachtungen der Niederschläge für mehrere Jahre vorgelegen und man ihre ausgeglichenen Werthe auf fünf statt auf drei aufeinanderfolgende Jahre hätte ableiten können.

Jedenfalls ist aber ersichtlich, daß am Anfange der Beobachtungszeit die Niederschläge in Lintzel geringer gewesen sind als auf jeder der fünf Vergleichsstationen und daß sie dann in den folgenden Jahren von Jahr zu Jahr größer wurden, bis sie schließlich mit Ausnahme von Hamburg die auf den Vergleichsstationen beobachteten Niederschläge übertrafen. Für die Jahre von 1882—1888 erhalten die Niederschläge in Lintzel in Bezug auf das Mittel aus den Vergleichsstationen folgende Werthe:

1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888
81,8 %	86,3 %	95,2 %	99,8 %	100,6 %	103,7 %	103,9 %.

Aus diesen Resultaten erscheint es unzweifelhaft, daß auch in unseren Breiten dieselben Verhältnisse vorliegen, wie sie von *Blanford* für Indien nach-

gewiesen sind und daher ein Einfluß des Waldes auf die atmosphärischen Niederschläge nicht nur in einem heißen Lande wie Indien, sondern auch in dem gemäßigten Klima Deutschlands in der Weise stattfindet, daß die Größe der Niederschläge mit zunehmender Bewaldung ebenfalls zunimmt.

A. Müntz, V. Marcano und ***A. Lévy.*** **Der Ammoniakgehalt der Luft und der Niederschläge in den Tropen.** Comptes rendus. Bd. CXIII. 1891. p. 779 u. p. 804. Bd. CXIV. 1892. p. 184. — Meteor. Zeitschrift. 1892. Heft 3. S. 103.

Im Anschluß an ihre Untersuchungen über den Salpetersäuregehalt der Niederschläge in Caracas (Venezuela) stellten die beiden erstgenannten Forscher solche über die Ammoniakmengen an, welche die Luft an dieser tropischen Station (10,3° n. Br.) aufweist.

Bei den Messungen des Salpetersäuregehaltes hatte sich ergeben, daß die Niederschläge in den Tropen etwa zehnmal reicher an Nitraten und Nitriten seien als in gemäßigten Klimaten, und es war gezeigt worden, daß diese starke Nitrifikation der Atmosphäre in der Häufigkeit und in der Intensität der elektrischen Ladungen in den Tropen ihren Grund habe.

Die Untersuchungen über den Ammoniakgehalt der Regenwässer wurden am 12. September 1889 begonnen und bis zum 29. August 1890, also ein ganzes Jahr hindurch, fortgesetzt. 20 Proben wurden so erhalten, welche im Mittel einen Ammoniakgehalt von 1,55 mgr per Liter ergaben. Das Minimum war 0,37 mgr, das Maximum 4,01 mgr. Dies Mittel ist beträchtlich höher als in unseren Klimaten. *Boussingault* erhielt im Elsaß nur 0,52 mgr, *Lawes* und *Gilbert* in England 0,97 mgr.

Es wurde dann auch die Luft auf ihren Gehalt an Ammoniak geprüft. Zu diesem Zwecke wurde angesäuertes Wasser einer bekannten Oberfläche während einer bestimmten Zeit der Luft ausgesetzt und hierauf die absorbirte Menge des Ammoniaks bestimmt.

Die Versuche dauerten vom 16. Januar bis 11. September 1890. 11 Bestimmungen, die 174 Beobachtungstage umfaßten, konnten gemacht werden, und sie ergaben, daß im Mittel eine Oberfläche von 1 qm der Säure in 24 Stunden 12,52 mgr Ammoniak absorbirte. Das Minimum betrug 5,30 mgr, das Maximum 27 mgr. *Schlösing* fand dagegen bei seinen Versuchen in Paris im Mittel nur 20 mgr. In Joinville-le-Pont ergaben die durch mehrere Jahre fortgesetzten Versuche im Mittel bei nur geringen Schwankungen 24 mgr.

Die Luft dieser Stationen ist somit reicher an gasförmigem Ammoniak als jene tropische Station.

Man könnte glauben, daß der Ammoniakgehalt der Luft in den heißen Gegenden ein größerer sein müsse, da in Folge der höheren Temperatur nach den von *Schlösing* aufgestellten Prinzipien die Spannkraft des Ammoniaks größer sein müßte. Da aber die früheren Versuche eine größere Menge von Salpetersäure ergeben hatten, so leuchtet ein, daß sich das Ammoniak, indem es sich mit dieser Säure verbindet, nicht mehr als Gas, sondern als krystallisirter Staub vorfinden wird.

Im Gegensatz zu unseren Klimaten ist die Luft in Caracas zwar im Ganzen reicher an Ammoniak, wie es die im Regenwasser vorhandene Menge beweist, aber der Betrag des gasförmigen, also des durch Flüssigkeiten absorbirten Ammoniaks ist geringer.

Die Versuche von *Schlösing* in Frankreich haben, ebenso wie die von *Müntz* gezeigt, daß die Schwankungen der von der gleichen Oberfläche absorbirten Ammoniakmenge nur gering sind. Man ersieht aber aus den obigen Angaben, daß dies nicht mehr in Caracas der Fall ist, wo sehr große Abweichungen beobachtet wurden. Diese Schwankungen hängen mit jenen Ursachen zusammen, welche den Gehalt der Luft an Salpetersäure bedingen. Wenn der Betrag dieser letzteren, je nach dem elektrischen Zustande der Luft, sich ändert, ändert sich auch der Betrag des Ammoniaks. Aus dem Wasser des Meeres theilt sich dann von Neuem das Ammoniak der Luft mit. Dieser Kreislauf aber ist in der Atmosphäre der Tropen ein viel lebhafterer als in unserem gemäßigten Klima.

A. Lévy macht gegen diese Schlüsse einige Bedenken geltend, indem er darauf aufmerksam macht, daß auch in England *Lawes* und *Gilbert* sehr verschiedene Zahlen in den einzelnen Jahren erhalten haben, und, beispielsweise im Jahre 1856, sich die Zahl 1,43 mgr ergab, welche sehr nahe den in Caracas gefundenen Werthen liegt.

Die folgende Tabelle wird zeigen, daß man auch in unseren Klimaten häufig Werthe beobachtet hat, die höher sind als die aus den 20 Proben von *Müntz* und *Marcano* gezogenen Mittel.

	Ammoniak per Liter		
Dahme, Deutschland (1865)	1,4	mgr.	Mittel 2,6.
Regenwalde, » (1864—65)	2,5	»	
» » (1865—66)	2,4	»	
» » (1866—67)	2,8	»	
Florenz (1870)	1,4	»	
Rothamsted, England (1856)	1,4	»	*(Lawes* u. *Gilbert).*
Observatorium Paris (1851)	3,4	»	*(Barral).*
» » (1852)	3,6	»	*(Barral).*
» Marseille (1853)	3,2	»	*(Martin).*
» Lyon (1852)	4,4	»	*(Bineau).*
Toulouse (Stadt. 1855)	4,6	»	*(Filhol).*
Observatorium Nantes (1863)	1,9	»	*(Bobierre).*
École de Grand-Jouan (1863)	2,1	»	*(Bobierre).*
Observatorium Montsouris (1876—90)	2,2	»	*(A. Lévy).*

Seit 16 Jahren, fügt *Lévy* hinzu, bestimme ich in jedem Regen zu Montsouris das Ammoniak und die salpetrige Säure. Ich habe ein Mittel von 150 Regen pro Jahr, deren Ammoniakgehalt in dem «Annuaire de l'Observatoire de Montsouris» veröffentlicht worden ist.[1] Diese zwei- bis dreitausend Proben Ammoniak ergaben mir ein Gewicht von 2,2 mgr pro Liter Wasser; diese Zahl ist größer als die, welche *Müntz* aus dem Regen von Caracas abgeleitet hat.

---

[1]) Vergl. diese Zeitschrift. Bd. XI. 1888. S. 164.

Diesen Einwänden gegenüber weist *Müntz* in einer neuerlichen Notiz auf den Umstand hin, daß die von *Lévy* mitgetheilten Zahlen durchaus in Städten mit großer Einwohnerzahl erhalten worden seien, und daß sich im Ammoniakgehalt der Niederschläge ein sehr wesentlicher Unterschied zwischen Stadt und Land zeige.

Es genügt schon, sich nur unbedeutend von den großen Städten zu entfernen, um zu erkennen, daß sich der Ammoniakgehalt wesentlich verringere. Schon ganz nahe bei Joinville-le-Pont ergaben zahlreiche Bestimmungen, die in den Jahren 1879—1886 von *Müntz* gemacht worden waren, ein Mittel von kaum 0,50 mgr Ammoniak pro Liter, d. i. 4,5 mal weniger, als *Lévy* in Paris erhielt.

Auch die Untersuchungen von *Angus Smith* lassen diese Thatsache erkennen, wie die folgenden Resultate beweisen:

England	(Land)	Mittel	Ammoniak	pro	Liter	Regen	0,97	mgr.
»	(Stadt)	»	»	»	»	»	5,14	»
Schottland	(Land)	»	»	»	»	»	0,53	»
»	(Stadt)	»	»	»	»	»	3,81	»
»	Glasgow	»	»	»	»	»	9,06	»

Die Resultate in Städten sind somit sehr stark durch rein lokale Ursachen beeinflußt, und man kann sie daher gar nicht mit herbeiziehen, wenn es sich um die Vergleichung der mittleren Verhältnisse in der Natur handelt.

Die zahlreichen Bestimmungen, die zu Rothamsted ausgeführt worden sind, sind gleichfalls eine Stütze der Thatsache, welche *Müntz* angeführt hat.

		Ammoniak per Liter.	
März 1853 bis Mai 1854	(15 Monate)	Mittel 0,89 mgr	*(Lawes* und *Gilbert).*
April 1869 bis Mai 1870	(69 Regen)	» 0,45 »	*(Frankland).*
1878—1883	(5 Jahre)	» 0,34 »	*(Lawes, Gilbert, Warington).*
1881—1886	(5 Jahre)	» 0,35 »	*(Warington).*

Diese Forscher haben alle fern von den großen Populationszentren ihre Bestimmungen gemacht, ebenso wie *Boussingault*, dann *Müntz* und *Marcano* in den Tropen.

Müntz schließt mit den Worten: «Ich kann deshalb meine Schlüsse in Betreff des Reichthums des Niederschlages an Ammoniak an unserer Beobachtungsstation in Venezuela aufrechterhalten».

«Im Uebrigen aber ist die Höhe des gefallenen Niederschlags in unseren Breiten viel niedriger als in den Gegenden nahe dem Aequator; man ist daher wohl berechtigt, auf eine weit lebhaftere Zirkulation des Ammoniaks in der Luft der Tropen zu schließen.»

A. Petermann und ***J. Graftiau.*** **Untersuchungen über die Zusammensetzung der Atmosphäre. I. Theil.** Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft. Mémoires couronnés et autres Mémoires, publiés par l'Académie royal de Belgique. T. XLVII. 1892.

Die von den Verff. analysirte Luft wurde in der Mitte einer Rasenfläche entnommen, auf welcher die meteorologischen Instrumente der landwirthschaftlichen Versuchsstation in Gembloux aufgestellt sind. Diese Grasfläche hat eine Höhe von 150 m über dem Meeresspiegel und einen Flächenraum von

1800 qm. Nach Osten und Westen gegen das Land offen, ist sie im Norden durch ein sehr niedriges Gebäude, welches sich von der Stelle der Luftentnahme 40 m entfernt befindet, und im Südosten bis Südsüdwesten durch 7 m hohe Bauten begrenzt; nur ein Gebäude von 17 m Höhe, mit Schornstein, beherrscht die Fläche in der Richtung nach Südwesten, in einer Entfernung von 45 m. Der Platz ist außerhalb der kleinen Stadt Gembloux gelegen, auf einem erhöhten Punkt, und es findet sich kein industrieller Schornstein in einem Umkreis von 500 m. Demgemäß kann die untersuchte Luft mit «Landluft» bezeichnet werden.

Die Luft wurde durch eine 12 mm weite Glasröhre entnommen, welche, nach unten gerichtet, sich in einer Höhe von 5 m über dem Boden befand, und deren Oeffnung mit einem Bäuschchen Glaswolle versehen war. Diese Röhre war direkt mit den Absorptionsapparaten verbunden, welche nach dem von *Schlösing* angegebenen Prinzip mit einigen Modifikationen, von denen einige bereits von *Reiset* angebracht waren, konstruirt waren.

Die Absorptionsflüssigkeit wurde durch Auflösen einer solchen Menge von Barythydrat[1]) in destillirtem Wasser hergestellt, daß 50 ccm durch 85 ccm einer Lösung neutralisirt wurden, welche im Liter 2,8636 Oxalsäure (1 ccm = 0,001 Kohlensäure) enthielt.

Die Untersuchungen wurden jedesmal in der Zeit von Morgens 9 Uhr bis Nachmittags vorgenommen und dauerten ca. 5–7 Stunden. Die durch einen Aspirator durch die Absorptionsflüssigkeit geleitete Luftmenge betrug 163,6 Liter. Die Frage über die Zusammensetzung der Luft während der Nacht wurde nicht in Betracht gezogen. Die Zahl der Bestimmungen vom 1. Mai 1889 bis 30. April 1891 stellte sich auf 525.

Die mittlere Kohlensäuremenge während der beiden Versuchsjahre berechnet sich im Mittel zu **2,944** Vol. Kohlensäure auf 10000 Vol. Luft bei 0° und 760 mm Druck. Vergleicht man diesen Werth mit denen jener Untersuchungen, welche unter gleichen Bedingungen angestellt wurden, so unterliegt es keinem Zweifel, daß der mittlere Kohlensäuregehalt der Atmosphäre sich dem Einfluß lokaler Einwirkungen entzieht, wie folgende Zahlen darthun:

Rostock *(Schulze)*	2,92,
Dieppe *(Reiset)*	2,96,
Plaine de Vincennes *(Müntz* und *Aubin)*	2,84,
Montsouris *(Marié-Davy* und *Lévy)*	2,93,
Gembloux *(Petermann* und *Graftiau)*	2,94.

[1]) Es wäre vielleicht zweckmäßig gewesen, wenn Verf. der Barytlösung etwas Baryumchlorid zugefügt hätte, wie dies von *v. Pettenkofer* vorgeschlagen wurde. Wenn nämlich neben suspendirtem Baryumkarbonat eine Spur von Alkali, sei es als Hydroxid oder Karbonat, zugegen ist, so bilden sich neutrale Alkalioxalate, und diese setzen sich ihrerseits mit dem vorhandenen Baryumkarbonat zu Baryumoxalat und Alkalikarbonat um. Bei jedem weiteren Zusatze von Oxalsäure wird Alkalikarbonat wieder zu Alkalioxalat und dieser Kreislauf beginnt von Neuem, so lange noch suspendirtes Baryumkarbonat vorhanden ist. Selbst bei der größten Sorgfalt und Reinlichkeit läßt es sich nicht vermeiden, daß hin und wieder eine Spur von Alkali sich bei der Entnahme der Luftprobe oder beim Titriren einschleicht und die Angaben der Analyse beeinträchtigt. Um diese Fehlerquelle ganz zu beseitigen, hat *v. Pettenkofer* die Vorkehrung getroffen, dem Barytwasser von vornherein einen Zusatz von Baryumchlorid zu geben, welches vermittelnd zwischen Baryumkarbonat und Alkali tritt, indem sich die vorhandenen Alkalikarbonate zu den entsprechenden Alkalichloriden umsetzen. (D. Ref.)

Das absolute Maximum betrug in vorliegenden Untersuchungen 3,54, das absolute Minimum 2,60. Diese Oszillationen stimmen ziemlich mit denjenigen überein, welche in früheren Versuchen gefunden wurden:

	Maximum.	Minimum.	Differenz.
Rostock	3,44	2,25	1,19
Dieppe	3,52	2,74	0,78
Plaine de Vincennes	3,17	2,70	0,47
Gembloux	3,54	2,60	0,94.

Mit Ausnahme der Untersuchungen in Vincennes ist der Unterschied zwischen Maximum und Minimum bemerkenswerth. Dennoch würde man sich, wie aus vorliegenden Untersuchungen hervorgeht, einer Täuschung hingeben, wollte man nach den vorstehenden Zahlen eine große Variabilität der Kohlensäure in der Luft annehmen. Es ergiebt sich dies deutlich, wenn man in einer Reihe von Versuchen die Zahl derjenigen berechnet, deren Ergebnis dem Mittel entspricht oder von demselben mehr oder weniger abweicht. Welcher Art die betreffenden Verhältnisse in diesen Versuchen waren, zeigt folgende Uebersicht:

11	Beobachtungen ergaben genau das Mittel	2,94,
92	» wichen vom Mittel ab um ± 0,05	2,89—2,99,
115	» » » » » » ± 0,10	2,84—3,04,
170	» » » » » » ± 0,20	2,74—3,14,
96	» » » » » » ± 0,30	2,64—3,24,
39	» » » » » » — 0,30— + 0,60	2,60—3,54.

Man erkennt hieraus, daß in 486 Fällen unter 525 (93 %) der Kohlensäuregehalt der Luft vom Mittel nur um ± 0,30 (10 %) abwich. Es darf somit geschlossen werden, daß die in der Luft enthaltenen Kohlensäuremengen von einer sehr merkwürdigen Konstanz sind, sobald lokale Einflüsse sich nicht geltend machen können.

In Bezug auf die Einwirkung der Oertlichkeit wurde in verschiedenen früheren Versuchen konstatirt, daß die geologische Natur des Bodens, die Dichte der Bevölkerung, die Zahl der Oefen u. s. w. das Mittel beträchtlich abändern. So hatte z. B. *Spring* am 10. Februar 1883 mitten in der Stadt Liège einen Gehalt von 5,25 Kohlensäure und im Verlauf seiner Untersuchungen annähernd so hohe Zahlen öfter gefunden. Ebenso stellten die Verff. fest, daß bei der Entnahme von Luftproben am Fenster des Laboratoriums, welches allseitig von Gebäuden umgeben war, der Kohlensäuregehalt der Luft im Mittel auf 3,70 stieg, mit einem Maximum von 4,34 und einem Minimum von 3,00.

An der Hand der gleichzeitig mit diesen Versuchen angestellten meteorologischen Beobachtungen suchen weiters die Verff. den Einfluß der Witterung zu ermitteln, zunächst denjenigen des Windes. Es ergab sich hierbei, daß die Richtung weder der kontinentalen noch der maritimen Winde den Kohlensäuregehalt der Luft merkbar zu beeinflussen vermochte. Dasselbe gilt auch von der Windstärke. Nur bei Stürmen, welche gleichzeitig von einer beträchtlichen Depression des Luftdruckes begleitet waren, erhöhte sich das Mittel (3,21). In Liège hatten die heftigen Winde das Mittel herabgedrückt, was *Spring* naturgemäß durch den schnellen Ersatz der übermäßig mit Kohlensäure beladenen Luft durch frische erklärt.

Die Ursache der Erhöhung der Kohlensäuremenge bei Stürmen ist aus der Dissoziation der Kalkbikarbonate des Meeres in Folge des verminderten Luftdruckes herzuleiten. Ueberhaupt muß an ein mit der Depression zunehmendes Freiwerden von Kohlensäure, besonders der aus dem Boden stammenden, gedacht werden. In wieweit diese Anschauung richtig ist, weisen folgende Zahlen nach:

Eintheilung der Bestimmungen nach dem mittleren täglichen Luftdruck.

	720—730	730—740	740—750	750—760	760—770 mm
Kohlensäure	3,11	2,94	2,93	2,95	2,93.

Diese Zahlen zeigen, daß der Luftdruck, wenn er auch im Allgemeinen ohne Einfluß auf den Kohlensäuregehalt der Luft sich erweist, bei außergewöhnlichen Depressionen doch zu einer Vermehrung des Gases beiträgt, unabhängig von der Richtung und Stärke des Windes.

Den Einfluß der Beschaffenheit des Himmels, der Meteorwässer und des Feuchtigkeitsgehaltes der Atmosphäre lassen folgende Zahlen erkennen:

Allgemeines Mittel		2,944.
Klarer Himmel	(217 Bestimmungen)	2,95
Bedeckter »	(103 »)	2,92.
Stürmisches Wetter	(26 »)	2,88.
Regnerisches »	(120 »)	2,93.
Nebliges »	(42 »)	3,13.
Schnee »	(17 »)	3,10.

Der Einfluß der Feuchtigkeit der Luft stellte sich wie folgt:

	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100 %
Kohlensäure	2,99	2,91	2,94	2,94	2,95	2,95.

Aus alledem läßt sich schließen, daß unter den verschiedenen Witterungszuständen nur der Nebel und Schnee den Kohlensäuregehalt der Luft, und zwar durch Vermehrung desselben, abgeändert haben.

Die Temperatur hatte folgende Wirkungen auf die Kohlensäure ausgeübt:

	—10— —5°	—5—0°	0—5°	5—10°	10—15°	15—20°	20—25°	25—30°
Kohlensäure	3,12	2,94	2,97	2,95	2,95	2,92	2,91	2,88.

Die Beobachtungen bei —10— —5° kommen nicht wesentlich in Betracht, weil die betreffenden Bestimmungen bei nebligem und Schnee-Wetter ausgeführt wurden. Hiervon abgesehen, zeigen die übrigen Zahlen eine große Annäherung an das Mittel, allerdings mit einer schwachen Tendenz der Abnahme in den Kohlensäuremengen mit steigender Temperatur.

Der Kohlensäuregehalt der Luft in den einzelnen Jahreszeiten stimmte fast genau mit dem Gesammtmittel überein, wie folgende Zahlen vermitteln:

	Gesammtmittel	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Kohlensäure	2,944	2,958	2,919	2,927	2,958.

Dieses Resultat steht in Uebereinstimmung mit den Ergebnissen der Versuche von *Boussingault, Schulze* und *Reiset*.

Bei Zusammenfassung der Resultate ihrer Untersuchungen gelangen die Verff. zu folgenden Sätzen:

Wenn man regelmäßig und während eines genügend langen Zeitraumes die unteren Schichten der Atmosphäre analysirt an Stellen, welche nicht von lokalen Kohlensäurequellen beeinflußt sind, so findet man, daß der Kohlensäuregehalt

sehr nahe bei 3 Vol. auf 10000 Vol. Luft (2,944) bei 0° und 760 mm Druck gelegen ist.

In Folge der außerordentlich schnellen Diffusion der Kohlensäure ist die bezeichnete Menge eine außerordentlich konstante.

In 486 Beobachtungen unter 525 (93%) betrugen die Abweichungen vom Mittel nur ± 10%.

Weder die Wirkungen des Windes, noch die Niederschläge, der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, sowie die gewöhnlichen Veränderungen im Luftdruck, in der Temperatur und in den Jahreszeiten können den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre alteriren.

Vier Ursachen veranlassen eine Erhöhung desselben:

1) Die außergewöhnlichen barometrischen Depressionen, indem sie den Austritt der Kohlensäure aus dem Boden begünstigen.

2) Die von sehr heftigen maritimen Winden begleiteten außergewöhnlichen Luftdruck-Depressionen erhöhen die Kohlensäuremenge auf dem Kontinent durch Dissoziation der Bikarbonate des Meeres.

3) Der Nebel und der Schnee vermehren den Gehalt der Kohlensäure der unteren Luftschichten durch Verlangsamung des Aufsteigens des Gases.

4) Abnehmende Temperatur wirkt in gleicher Weise. Zunehmende Temperatur vermindert im Gegentheil den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre.

Fügt man den hier geschilderten Ursachen den reduzirenden Einfluß der Vegetation hinzu, so begreift man, daß die natürlichen Kräfte, je nachdem sie in einer entgegengesetzten Richtung wirken, die Erhöhung und Verminderung des mittleren Kohlensäuregehaltes der Atmosphäre auszugleichen trachten. Aber sie können auch, falls sie, durch Kongruenz, in gleichem Sinne sich geltend machen, sehr bemerkbare Abweichungen hervorrufen, bis zu 20% vom allgemeinen Mittel.

Im Ganzen folgt aus den neueren Untersuchungen von *Schulze, Reiset, Müntz* und *Aubin,* sowie von *Spring* und den unsrigen, daß die früher ermittelte Zahl, 4—6 pro 10000, wie solche von *Saussure, Thénard, Boussingault* u. A. gefunden wurde, aufgegeben werden, und daß, im Gegensatz zu den älteren Ansichten, der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre als konstant angenommen werden muß. *E. W.*

***J. Aitken.* Ueber die Zahl der Staubtheilchen in der Atmosphäre verschiedener Orte Großbritanniens und des Kontinents, mit Bemerkungen über die Beziehung zwischen der Staubmenge und den meteorologischen Erscheinungen.** Nature 1892. Vol. XLV. p. 299. — Naturw. Rundschau. 1892. Nr. 21. S. 264.

Im Jahre 1890 hat Verf. einen großen Theil der Orte, an denen er im Vorjahre seine Staubzählungen angestellt hatte[1]), wieder besucht; außerdem hat er in Schottland viele Beobachtungsreihen bei verschiedenen Witterungsverhältnissen ausgeführt und über die Beziehungen des Wetters zum Staub werthvolle Erfahrungen gesammelt.

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XIV. 1891. S. 473.

Von allgemeinerem Interesse sind die diesjährigen Beobachtungen auf Rigi Kulm, woselbst Verf. sich vom 15.—20. Mai aufgehalten, und zwar bei einer auffallend dicken und schweren Luft, während beim ersten Besuch das Wetter meist schön und die Luft ungemein klar war. Das Maximum der Staubpartikel war dementsprechend bei dem ersten Besuch nicht viel über 2000 im ccm, während dasselbe bei dem zweiten Besuch 10000 betrug. Auch unten am See machte sich der Unterschied der beiden Jahre geltend; 1889 wurden dort 600 bis 3000 im ccm gezählt, 1890 aber 1700 bis 13000; ungefähr war also die Zahl im zweiten Jahre viermal so groß als im ersten. Dieser Unterschied machte sich, wie erwähnt, im Aussehen der Luft, besonders aber in der Fernsicht und bei Sonnenuntergang bemerkbar. Noch besonders wurde festgestellt, daß der Dunst, den man bei Sonnenuntergang sich bis über die höchsten Gipfel der Berge erheben sah, von trockenen Partikelchen herrührte; denn die Feuchtigkeit der Luft war beim zweiten Besuch dieselbe wie beim ersten.

Verf. hatte diesmal auch Gelegenheit, direkt den allgemein angenommenen Einfluß des Gewitters auf das Absetzen des Staubes aus der Atmosphäre zu prüfen. An einem Tage seines Aufenthaltes in Rigi Kulm tobte ein heftiges Gewitter während des größten Theiles des Nachmittags im Osten, Süden und Westen, und zog dann am Abend über Rigi Kulm weg. Das Gewitter war so nahe, daß Donner und Blitz zusammenfielen. Am Tage, bevor das Gewitter nahe kam, fanden sich nahezu 4000 Staubtheilchen im ccm Luft; um 6 Uhr, als das Gewitter herannahte, fiel ihre Zahl auf 3000, und um 7 Uhr 10 Min., als das Gewitter nahezu vorüber war, sank die Zahl auf 725 im ccm. Diese Zahlen scheinen die Annahme, daß die Gewitter die Luft reinigen, zu bestätigen; und am nächsten Morgen war in der That das Aussehen der Luft ein wesentlich besseres als vor dem Gewitter; der dicke Schleier war verschwunden und die Fernsicht hatte sich bedeutend gebessert. Dieser Schluß ist jedoch kein zwingender; denn offenbar kann der intensive Hagel, der während des Gewitters gefallen war, die reinere, obere Luft nach dem Beobachtungsorte mit niedergerissen haben, so daß die um 7 Uhr 10 Min. untersuchte Luft nicht mehr dieselbe gewesen ist wie die vorher geprüfte, sondern die reinere Luft der oberen Schichten. Eine ähnliche, nur noch auffallendere Beobachtung hat Verf. 1889 bei einem schweren Regen gemacht.

Am Mittage des letzten Tages auf Rigi Kulm war die Luft wieder recht dunstig geworden und die Zahl der Stäubchen betrug 10000 im ccm; beim Hinabsteigen wurde dann die Luft am See um 3 Uhr geprüft, und auch hier fand man 10000 Stäubchen im ccm bei genau gleicher Feuchtigkeit. Als Verf. gerade im Begriff war, seine Prüfungen zu beenden, merkte er, daß die Zahl der Stäubchen unbeständig werde und abnehme; er setzte daher die Untersuchung weiter fort und fand eine allmähliche Abnahme von den ursprünglichen 10000 auf 1700 im ccm. Diese Erfahrung könnte das Vertrauen auf den Werth dieser Zählungen ernstlich erschüttern, wenn nicht gleichzeitig ein Steigen der Lufttemperatur und eine Abnahme ihrer Feuchtigkeit sich bemerklich gemacht hätte; die Temperatur war von 21,7° C. auf 23,6° C. gestiegen und das feuchte Thermometer, welches Anfangs 6,1° C. niedriger stand, zeigte eine Differenz von 10,3° C. Daß während der Beobachtung die Luft gewechselt hatte, erkannte man auch an der veränderten Windrichtung; Anfangs blies der Wind vom See her, dann aber

kam er von den Bergen und brachte die obere, reine Luft der Höhen nieder, welche sich beim Niedersinken erwärmen mußte und trockener war als die vom Wasser kommende. Nach einiger Zeit hörte der Höhenwind auf und es stellte sich wieder die anfängliche Windrichtung her; nachdem der Seewind einige Zeit angehalten, nahm die Zahl der Partikelchen wieder schnell zu und wurde sogar noch größer, als sie Anfangs gewesen; auch Temperatur und Feuchtigkeit kehrten zu ihren Anfangswerthen zurück.

Die Beobachtungen auf Rigi Kulm zeigten ferner sehr deutlich ein tägliches Maximum des Staubes; Morgens war die Zahl der Partikelchen am kleinsten; sie nahm dann bedeutend zu mit dem Vorrücken des Tages, während die Thalluft immer höher emporstieg; die unreine Luft der Thäler langte gewöhnlich schon vor Mittag auf dem Gipfel an; Mittags war die Zahl der Partikelchen dreimal so groß als Morgens.

Den großen Unterschied zwischen den Schweizer Beobachtungen in den Jahren 1889 und 1890 erklärt Verf. damit, daß bei seinem ersten Besuche 1889 Südwinde herrschten, welche die reine Höhenluft zu den Beobachtungsstationen niederbrachten, während in den ersten Tagen des zweiten Besuches Nordwinde die Luft aus den dichtbevölkerten Niederungen brachten. An dem Morgen des Gewittertages hatte sich der Wind gedreht und wehte aus Süden, am Gotthard, am Säntis und am Rigi. Das Gewitter entstand zweifellos da, wo sich die beiden Luftströmungen, der alte nördliche und der neue südliche Wind trafen. Die plötzliche Abnahme der Staubtheilchen und die dem Gewitter folgende Klarheit der Luft ist also viel wahrscheinlicher dadurch bedingt gewesen, daß die reine Höhenluft die unreine nördliche verdrängt hatte, als durch eine Wirkung des Gewitters.

Die Beobachtungen, welche auf dem Ben Nevis und in Kingairloch im Juli 1890 gemacht wurden, bestätigen die Schweizer und die vorjährigen Erfahrungen, daß die Luft dunstig und reich an Staubtheilen ist, wenn der Wind aus bewohnten Gegenden bläst, hingegen klar und arm an Staub ist, wenn er aus unbewohnten Gebieten kommt. Ausnahmen zeigten sich nur, wenn die Druckverhältnisse sehr unregelmäßig waren und die Winde an benachbarten Orten die verschiedensten Richtungen hatten, dann brachten auch die aus unbewohnten Gegenden stammenden Winde keine reine Luft.

Auf Ben Nevis war die Luft 1890 reiner als 1889. Die Zahl der Staubtheilchen war an vielen Tagen sehr gering, an einigen außerordentlich unbedeutend; die kleinste beobachtete Zahl war 16,5 im ccm. Gleichzeitig war die Temperatur außergewöhnlich niedrig; der Juli 1890 war kalt, feucht und windig. Die Höhenstation bot zwar im Allgemeinen eine Aehnlichkeit mit dem Verhalten der Tiefenstation in Kingairloch dar, doch zeigten sich Unterschiede darin, daß die hohe Station ein tägliches Maximum besaß, und daß die Winde, welche auf die Zahl der Staubtheilchen von Einfluß sind, oben und unten nicht immer dieselben waren. In der Regel hatte die höhere Station weniger Staub als die tiefe; aber wenn der Staub unten zunahm, dann wuchs die Zahl auch oben; Ausnahmen von dieser Regel wurden nur selten beobachtet.

Eine Besteigung des Callievar wurde auch 1890 ausgeführt. Während 1889 der Fernblick weit war, die Zahl der gesammelten Stäubchen 262 betrug und Nachmittags auf 475 im ccm stieg, war die Luft 1890 dick, der Fernblick be-

schränkt und die Zahl der Partikelchen betrug 710 und stieg Nachmittags auf 1575 pro ccm. Die Luft war übrigens sehr verschieden dunstig, und man erkannte eine besonders dunkle Luftmasse, die von Osten über den Berggipfel nach Westen zog. Bevor diese Masse anlangte, zählte man 710 Stäubchen, als sie vorüberzog, hatte man 1575 und nachdem sie fortgezogen war, zählte man 1050 Partikelchen im ccm. Die Feuchtigkeit war während der ganzen Zeit dieselbe; die Aenderungen der Durchsichtigkeit waren also ausschließlich von den Aenderungen der Staubmenge bedingt.

Im ungewöhnlich warmen Februar 1890 wurde die Luft vom 27. und 28. zu Garelochhead untersucht und ergab eine sehr große Menge Staub. Ende Januar 1889 hatte Verf. hier 2360 Partikel im ccm gefunden; am 27. Februar 1890 war die kleinste Zahl 7250, andere Male fand er 10000 im ccm Luft. Am 28. änderten sich die Luftdruckverhältnisse, der Wind sprang von Süd nach West, und mit dieser Aenderung begann die Zahl der Staubkörnchen abzunehmen, sie sank auf 1750 und am 1. und 2. März beim Auffrischen des Westwindes auf 51 im ccm, d. h. auf $^1/_{200}$ von dem Staubreichthum am 27. Februar.

Eingehend behandelt Verf. schließlich die Beziehungen zwischen der Staubmenge und der Temperatur. Seine ersten Beobachtungen hatten ihm den Schluß ergeben, daß eine große Menge Staub in der Luft die Tagestemperatur erhöht und die Temperaturabnahme in der Nacht hindert. Die Beobachtungen zu Alford und zu Garelochhead aus dem Jahre 1890 bestätigen diesen Schluß; die höchsten Temperaturmaxima fielen auf Tage mit staubfreier Luft und die niedrigsten Minima auf staubreichere Tage. Auch die Beobachtungen auf Ben Nevis zeigten, daß während der kalten Periode die Luft auffallend frei von Staub war; die Beobachtungen zu Kingairloch können hier nicht herangezogen werden, weil das unruhige Wetter beständig unter dem Einfluß von Zyklonen stand. Im Ganzen sind also die Beobachtungen von 1890 dem obigen Schlusse günstig.

***A. Rankin.* Staubzählungen auf dem Ben Nevis.** Nature. 1892. Vol. XLV. p. 582. — Naturw. Rundschau. 1892. Nr. 31. S. 395.

Nach seinen Erfolgen, welche *Aitken* mit seinem Staubzähler über die räumlichen und zeitlichen Schwankungen der in der Luft enthaltenen festen Partikelchen erhalten hatte, wurde mit Unterstützung der Royal Society für die meteorologische Station auf dem Ben Nevis ein solcher Apparat angeschafft und in Betrieb gesetzt. Der Apparat besteht aus zwei Staubzählern, einem tragbaren zur Verwendung im Freien, und einem Laboratoriumsapparat, der im mittleren Thurmzimmer fest aufgestellt ist und Röhren besitzt, so daß man bei jeder Witterung, zu jeder Tages- und Nachtzeit Beobachtungen anstellen kann.

Die Beobachtungen begannen mit dem tragbaren Apparat im Februar 1890 und mit dem festen im darauffolgenden Sommer; seit dem 1. Februar 1891 ist die Zählung der Staubtheilchen in die Reihe des regelmäßigen Beobachtungsdienstes aufgenommen und wird alle drei Stunden ausgeführt. Sie schließt sich direkt den stündlichen Beobachtungen an, so daß diese genau die bei der Staubzählung herrschende Witterung angeben. Bereits ist ein umfangreiches Beobachtungsmaterial gesammelt, das aber noch nicht eingehend studirt worden ist. Verf. hebt aus demselben nur einige interessante Punkte hervor.

In erster Reihe fällt die ungeheure Veränderlichkeit in der Zahl der Staubtheilchen auf, nicht allein im Laufe des Jahres, sondern oft im Verlauf weniger Stunden. Am Meeresniveau hängt die Zahl der Staubtheilchen in der Luft jederzeit von der Oertlichkeit und der Windrichtung ab. Auf dem Ben Nevis betrug das Mittel 696 pro ccm Luft, gegen 1600 in Kingairloch, Westschottland, und 100 000 in London; das Maximum betrug 14 400 und das Minimum ist mehrere Male auf 0 gesunken. Ein allgemeines Mittel giebt keine rechte Vorstellung von dem Staubgehalt der Luft auf Bergesgipfeln, da die tägliche Schwankung der Staubtheilchen sehr groß ist, weil sie vom Steigen und Sinken der Luft über dem Beobachtungsort abhängen; hingegen hat das Mittel für Orte am Meeresspiegel viel mehr Bedeutung, weil hier die Schwankungen einen ganz anderen Charakter tragen.

Eine Zusammenstellung der Mittel, der Maxima und der Minima für die acht Monate, für welche hinreichend viele Beobachtungen vorliegen, zeigt, daß die Luft über dem Ben Nevis im Frühling am staubreichsten ist, was auch für die Luft am Meeresspiegel zutreffend sein mag; die Ursache hierfür ist die große jährliche westliche Bewegung der ganzen Atmosphäre, oder wenigstens eines beträchtlichen Theiles derselben in dieser Jahreszeit. Aus den Windbeobachtungen auf dem Ben Nevis ist sowohl für die Höhe, wie für die Tiefe das Ueberwiegen der Ostwinde im Frühling nachgewiesen. Das Sommer-Mittel (700, 588, 606) dürfte etwas zu niedrig sein, weil der Sommer sehr kalt und die allgemeine Luftzirkulation eine abnorme gewesen ist. Das Maximum mit 14 400 wurde um 1 Uhr Mittags am 11. April 1891 beobachtet, und als Beweis dafür, um wie viel die Werthe in kurzer Zeit schwanken, sei erwähnt, daß an demselben Tage um 8 Uhr Morgens die Zahl nur 350 im ccm betrug und daß sie um Mitternacht wieder auf 600 gesunken war.

Die tägliche Schwankung stellt sich ziemlich gut in den dreistündlichen Beobachtungen dar. Für die Monate März, April und Mai 1891 wurden nachstehende Mittel der acht Beobachtungsstunden gefunden:

Stunde	1	4	7	10	13	16	19	22
	736	526	570	551	950	1438	1035	1029.

Wir sehen hier ein Minimum (526) um 4 Uhr früh und ein Maximum (1438) um 4 Uhr Nachmittags. Im Vergleich zum Tagesmittel (854) liegen alle Vormittagswerthe niedriger und alle Nachmittagswerthe höher. Danach scheint es, daß während des Vormittags der Gipfel des Ben Nevis über der ersten oder unteren Wolken- und Staubschicht emporragt. Um Mittag hebt sich diese Schicht bis zum Niveau des Gipfels und schwebt während des Nachmittags über demselben, um spät in der Nacht wieder niederzusinken. Hieraus dürfte geschlossen werden, daß der Gipfel öfter wolkenfrei ist am frühen Morgen und öfter verhüllt am Nachmittag. Eine Zusammenstellung darüber, wie oft der Gipfel in den letzten sieben Jahren klar gewesen ist, zeigt, daß nur in 30 % klares Wetter beobachtet wurde, an dem der Gipfel frei von Nebel gewesen ist, aber sie zeigt keine tägliche Schwankung wie die Staubbeobachtungen; so weit jedoch eine Differenz sich herausstellt, ist sie eine umgekehrte, nämlich es zeigt sich ein Maximum des klaren Wetters am Mittag und ein Minimum in der Nacht. Dies deutet entschieden darauf hin, daß, wenn die Staubschicht in der Nacht

unter den Gipfel sinkt, die Ausstrahlung allein eine Wolkenhülle auf dem Gipfel des Hügels erzeugt, und daß hingegen am Nachmittag, obwohl die Staubschicht den Gipfel einhüllt, die Sonnenstrahlung ihn so erwärmt, daß eine Kondensation nicht möglich ist, vielmehr die wässerigen Theilchen der Wolke verdampfen. Die Wirkung der Sonnenstrahlung und der nächtlichen Ausstrahlung auf Staubtheilchen und auf eine Staubschicht ist übrigens ein noch zu lösendes Problem, über das noch wenig bekannt ist.

Erfahrungen, welche bereits *Aitken* über die Beziehungen des Staubes zum Winde und zur Windstille, wie über das Verhältniß zur Dunstigkeit und Feuchtigkeit der Luft gemacht hat, sind durch die Zählungen auf dem Ben Nevis bestätigt worden. Von besonderem Interesse ist das Verhältniß des Staubgehaltes der Luft zu den Witterungstypen. Bei manchen Wettertypen sind die Staubzahlen ganz abnorm; aber auch die tägliche Schwankung derselben kann eine ganz abnorme sein, so daß die Staubschichten anders gelagert sind und sich zu anderen Zeiten heben und senken. Als Beispiel seien die nachstehenden dreistündlichen Werthe aus dem März 1890 angeführt für drei Perioden, von denen die erste 12 Tage, die zweite 3 Tage, die dritte 5 Tage anhielt.

	1	4	7	10	13	16	19	22
I.	78	61	78	67	113	408	258	102
II.	2867	1785	917	4733	4213	4295	3417	2533
III.	65	25	37	19	20	28	93	76.

Während der dritten fünftägigen Periode war das Wetter sehr merkwürdig. Eine große Depression rückte langsam ostwärts nach dem Norden von Schottland vor, und die Winde auf dem Ben Nevis wehten gerade aus dem Zentrum, während sie am Meeresspiegel in der normalen Richtung kreisten. Dies ist der gewöhnliche Typus, bei dem niedrige Staubzahlen erhalten werden; aber eine Erklärung dafür, daß die tägliche Schwankung die umgekehrte, daß die höheren Werthe in der Nacht und die niedrigen um Mittag beobachtet wurden, läßt sich nicht so leicht geben. Dies bedarf noch weiterer Untersuchung.

So viel kann mit Sicherheit behauptet werden: Wenn man den Einfluß des Staubes auf die Witterung, im Besonderen auf die Wolken- und Nebelbildung, wie auf die Ein- und Ausstrahlung studiren will, dann müssen die Beobachtungen auf einem freien Bergesgipfel gemacht werden, weil hier nicht allein die horizontalen, sondern auch die vertikalen Luftströmungen zur Wahrnehmung gelangen.

***W. Krebs.* Die Niederschlagsmenge im Verhältniß zur geographischen Breite und als klimatisches Agens.** Meteor. Zeitschrift. 1892. Aprilheft. S. 150 u. 151.

In einer früheren Mittheilung [1]) wurde auf die gesetzmäßige Beziehung aufmerksam gemacht, in welcher das Verhältniß der thierischen zur pflanzlichen wirthschaftlichen Produktion, als «arktoide Prozente» für Breitenzonen berechnet, zu den Quotienten Bewölkung: Temperatur der entsprechenden Zonen steht. Es wurde festgestellt, daß für

[1]) Diese Zeitschrift. Bd. XV. 1892. S. 157.

die Zehngradzonen	20—30,	30—40,	40—50° N Br.	
die arktoiden Prozente betrugen . . .	24	55	115	(1)
die erwähnten klimatischen Quotienten	30	55	132	(2).

Von vornherein war ein entsprechender Einfluß der Regenmenge, eine Korrektur dieser Quotienten und eine Erweiterung ihrer Reihe zu erwarten, falls es gelang, auch für die Niederschläge eine zonenweise Vertheilung zu berechnen. Ein Versuch, welchen Verf. mit Hilfe der 1356 Niederschlagsmittel vornahm, die *Cl. Loomis* auf S. 145 ff. seiner Contributions to Meteorology III (New Haven 1889) verzeichnet hat, führte zu einer Zahlenreihe von überraschender Stetigkeit, welche in den Fünfgradzonen noch mehr hervortrat als in den Zehngradzonen.

Breitenzonen N

85° — 80° — 75° — 70° — 65° — 60° — 55° — 50° — 45° — 40° — 35° — 30° — 25° — 20° — 15° — 10° — 5° — 0°

Zahl der Stationen

1 1 5 18 29 52 82 117 179 143 102 37 60 80 21 37 36

Mittlere Niederschläge mm

99 183 271 436 710 778 832 956 893 726 681* 1178 1283 2045 2625 2003 2579

Breitenzonen S

0° — 5° — 10° — 15° — 20° — 25° — 30° — 35° — 40° — 45° — 50° — 55° — 60°

Zahl der Stationen

43 40 11 25 22 44 115 38 12 1 4 1

Mittlere Niederschläge mm

2673 3841 1429 1726 1444 668 631* 867 1356 885 650 1350 (3)

Breitenzonen

N 90 — 80 — 70 — 60 — 50 — 40 — 30 — 20 — 10 — 0 — 10 — 20 — 30 — 40 — 50 — 60 S

Zahl der Stationen

1 6 47 134 296 245 97 101 73 83 36 66 153 13 5

Mittlere Niederschläge Inches

3,9 8,9 22,6 31,7 36,4 27,7* 48,4 91,8 90,2 128,8 62,1 41,6 29,5* 44,1 39,6 (4)

Diese Reihen (3) beziehungsweise (4) zeigen eine auffallende Beziehung zu derjenigen der nach den geographischen Breiten berechneten Luftdruckmittel, indem die Niederschläge in den Zonen 30—40° nördlicher wie südlicher Breite Minima besitzen, in denselben Zonen, in welchen der mittlere Luftdruck am höchsten ist. Den Mitteln der Bewölkung entsprechen sie weit weniger. Nach den von *Woeikof* gesammelten Daten berechnete Verf. diese in folgenden Prozenten:

Breitenzonen

N 80° — 70 — 60 — 50 — 40 — 30 — 20 — 10 — 0 — 10 — 20 — 30 — 40 — 50 — 60° S

Bewölkung

68 67 62 51 37 31* 49 63 61 ? 51 48* 56 69

Zahl der Angaben

7 10 23 48 18 3(4) 9 4 3 0 6 6 1 3 (5)

Für diese Zonen ergeben sich nach *Spitaler* folgende Mittel-Temperaturen:

Breitenzonen

N 60° — 50 — 40 — 30 — 20 — 10 — 0 — 10 — 20 — 30 — 40° S

Mittel-Temperatur ° C

2,4 9,7 17,1 23,2 26,1 26,1 25,5 23,9 20,7 15,2 (6)

Berechnet man aus den Zahlen der Reihen (6), (5) und (4) die wahrscheinlichen klimatischen Faktoren derart, daß man die Bewölkung der pflanzlichen Produktion ungünstig, Niederschläge und Temperatur über dem Gefrierpunkt als derselben günstig setzt, also:

$$\frac{\text{Bewölkung}}{\text{Temperatur} \times \text{Niederschläge}},$$

so erhält man für die Zehngradzonen der nördlichen Halbkugel bis 60° N Br. folgende Quotienten:

Breitenzonen N

60° — 50 — 40 — 30 — 20 — 10 — 0°

820 158 79 28 20 27

Mit der Konstanten 0,7 multiplizirt ergeben sich die Zahlen:

574 107 55 20 14 19 (7)

Die arktoiden Prozente derselben Zonen sind:

322 115 55 24 12 19 (8)

Die Annäherung der Reihe (8) an die Reihe (7) ist so groß, daß man in der That ein Recht hat, einerseits den Komponenten der Zahlen (7), also Bewölkung, Temperatur, Niederschlägen einen gebietenden Einfluß auf die Produktion zuzugestehen, andererseits die arktoiden Prozente der Breitenzonen reale Größen zu nennen.

W. von Bezold. **Zur Thermodynamik der Atmosphäre.** IV. Uebersättigung und Ueberkaltung. Gewitterbildung. Sitzungsber. d. Berliner Akademie. 1892. S. 279.

C. C. Hutchins. **Strahlung der atmosphärischen Luft.** American Journ. of Science. 1892. Ser. 3. Vol. XLIII. p. 357.

H. Hartl. **Ueber die von der Erdoberfläche reflektirten Sonnenstrahlen.** Meteor. Zeitschrift. 1892. Aprilheft. S. 138—141.

W. Trabert. **Zur Theorie der Erwärmung herabsinkender Luft.** Meteor. Zeitschrift. 1892. Aprilheft. S. 141—143.

H. Geitel. **Beobachtungen, betreffend die elektrische Natur der atmosphärischen Niederschläge.** Verhandl. d. Ges. deutscher Naturf. u. Aerzte zu Halle. 1891. II. S. 25.

E. Rathay. **Wirkung des Blitzes auf Weinreben.** Denkschriften d. Wiener Akademie. 1891. LVIII. S. 585.

E. Chaix. **Vergleichende Temperaturbeobachtungen in der Luft, im Schnee und im Boden.** Arch. des sc. phys. et nat. 1891. Ser. 3. T. XXVI. p. 524.

P. A. Müller. **Ueber die Frage der Verdunstung der Schneedecke.** Repert. f. Meteor. 1892. Bd. XV. Nr. 4.

G. Hellmann. **Resultate des Regenmeß-Versuchsfeldes bei Berlin 1885—1891.** Meteor. Zeitschrift. 1892. Maiheft. S. 173—181.

K. Sondén. **Ein neues Instrument zur Bestimmung von Dampfspannungen bei niedrigen Temperaturen.** Meteor. Zeitschrift. 1892. Märzheft. S. 81—88.

F. von Kerner. **Ein Instrumeut zur Messung des Thauniederschlages.** Meteor. Zeitschrift. 1892. Märzheft. S. 106—108.

C. F. Winter'sche Buchdruckerei.



Carl Winter's Universitätsbuchhandlung in Heidelberg.

FORSCHUNGEN

AUF DEM

GEBIETE DER AGRIKULTURPHYSIK.

UNTER MITWIRKUNG DER HERREN:

PROF. DR. J. VAN BEBBER IN HAMBURG; PROF. DR. J. VAN BEMMELEN IN LEIDEN (HOLLAND); PROF. DR. J. BÖHM IN WIEN; PROF. DR. J. BREITENLOHNER IN WIEN; PROF. DR. A. BÜHLER IN ZÜRICH; PROF. DR. W. DETMER IN JENA; PROF. DR. E. EBERMAYER IN MÜNCHEN; DR. C. FERRARI IN TREGNAGO; PROF. DR. E. GODLEWSKI IN DUBLANY (GALIZIEN); DR. G. HAVENSTEIN IN BONN; PROF. DR. R. HEINRICH IN ROSTOCK; PROF. DR. E. W. HILGARD IN BERKELEY (CALIFORNIEN U. S.); PROF. DR. F. v. HÖHNEL IN WIEN; PROF. DR. S. W. JOHNSON IN NEW-HAVEN (CONNECTICUT U. S.); PROF. P. KOSTYTSCHEFF IN ST. PETERSBURG; PROF. DR. J. KÜHN IN HALLE A. S.; PROF. DR. C. KRAUS IN WEIHENSTEPHAN; DR. C. LANG IN MÜNCHEN; PROF. DR. TH. LANGER IN MÖDLING; DR. J. R. LORENZ VON LIBURNAU IN WIEN; PROF. DR. A. VON LIEBENBERG IN WIEN; PROF. DR. G. MAREK IN KÖNIGSBERG I. PR.; PROF. DR. A. MAYER IN WAGENINGEN (HOLLAND); PROF. DR. J. MÖLLER IN INNSBRUCK; PROF. DR. A. MÜLLER IN BERLIN; PROF. DR. H. MÜLLER-THURGAU IN WÄDENSWEIL (SCHWEIZ); PROF. DR. J. NESSLER IN KARLSRUHE; PROF. DR. A. ORTH IN BERLIN; PROF. DR. R. PEDERSEN IN KOPENHAGEN; PROF. DR. E. RAMANN IN EBERSWALDE; DR. W. RIEGLER IN WIEN; PROF. DR. E. VON RODICZKY IN KASCHAU (UNGARN); DR. W. SCHUMACHER IN BONN; DR. P. SORAUER IN PROSKAU; DR. F. C. TSCHAPLOWITZ IN PROSKAU; PROF. DR. P. WAGNER IN DARMSTADT; PROF. DR. G. WILHELM IN GRAZ

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. E. WOLLNY,

PROFESSOR IN MÜNCHEN.

FÜNFZEHNTER BAND. FÜNFTES HEFT.

HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1892.